



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH**

**Escola Tècnica Superior d'Enginyeries
Industrial i Aeronàutica de Terrassa**

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

**Proyecto de implantación en una vivienda de un sistema híbrido para
la producción de ACS, calefacción y refrigeración en base a un
sistema solar más un sistema de aerotermia**

Autor

Jordi Mayor Oller

Director

Òscar Ribé Torijano. Departamento de Máquinas y Motores Térmicos

MEMORIA

20 Junio 2019



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Tècnica Superior d'Enginyeries
Industrial i Aeronàutica de Terrassa

Proyecto de implantación en una vivienda de un sistema híbrido para la producción de ACS, calefacción y refrigeración en base a un sistema solar más un sistema de aerotermia



AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a Òscar Ribé Torijano, por su dedicación, consejos, opiniones y especialmente, por transmitirme gran parte de conocimientos que sirvieron de ayuda para realizar el proyecto.

A Samir Hariri Echauri, de Johnson Controls-Hitachi Air Conditioning, quién se ha involucrado con fuerza en el proyecto y me ha aportado todo tipo de conocimientos a nivel profesional.

A Alicia López y Guifré Oso, de Mitsubishi Electric, por involucrarse también en el proyecto dando sus valoraciones y dedicando tiempo a la comprensión de éstas.



TABLA DE CONTENIDOS

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE GRÁFICOS.....	II
LISTA DE TABLAS	III
LISTA DE ABREVIATURAS	V
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. OBJETO DEL PROYECTO.....	1
1.2. ALCANCE	1
1.3. ESPECIFICACIONES.....	1
1.4. JUSTIFICACIÓN	2
2. ESTADO DEL ARTE	3
3. NORMATIVAS.....	5
4. CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA	6
4.1. ZONAS DE LA VIVIENDA A CLIMATIZAR.....	10
5. METODOLOGÍA.....	13
5.1. ESTUDIO DE LAS NECESIDADES DE LA VIVIENDA	13
5.2. DEFINICIÓN DE SISTEMAS Y SELECCIÓN DE EQUIPOS DE PRODUCCIÓN.....	13
5.3. COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS	13
6. ESTUDIO DE NECESIDADES: ACS.....	14
6.1. DEMANDA DIARIA DE ACS Y CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA ANUAL	14
6.2. POTENCIA NECESARIA PARA PRODUCIR ACS.....	16
7. ESTUDIO DE NECESIDADES: CLIMATIZACIÓN	19
7.1. CONDICIONES CLIMÁTICAS DE PROYECTO.....	19



Proyecto de implantación en una vivienda de un sistema híbrido para la producción de ACS, calefacción y refrigeración en base a un sistema solar más un sistema de aerotermia

7.1.1. Condiciones exteriores.....	19
7.1.2. Condiciones interiores.....	20
7.2. DEMANDA DE CALEFACCIÓN	22
7.2.1. Pérdidas por cerramientos	22
7.2.2. Pérdidas por ventilación	24
7.2.3. Carga total de calefacción	25
7.3. DEMANDA DE REFRIGERACIÓN.....	28
7.3.1. Ganancias por cerramientos	28
7.3.2. Ganancias por radiación	31
7.3.3. Ganancias por ventilación	31
7.3.4. Ganancias por ocupación.....	32
7.3.5. Ganancias por equipos	33
7.3.6. Ganancias por iluminación	34
7.3.7. Carga total de refrigeración	34
8. SISTEMA CONVENCIONAL	39
8.1. PRODUCCIÓN DE ACS	39
8.1.1. Instalación solar térmica.....	40
8.1.2. Elemento auxiliar.....	45
8.2. CLIMATIZACIÓN	46
8.2.1. Sistema de climatización de Hitachi	49
8.2.2. Sistema de climatización de Mitsubishi	53
8.3. DEFINICIÓN DEL SISTEMA CONVENCIONAL	56
9. SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN HÍBRIDO	59
9.1. SOLUCIONES DE CLIMATIZACIÓN	61



**Proyecto de implantación en una vivienda de
un sistema híbrido para la producción de ACS,
calefacción y refrigeración en base a un
sistema solar más un sistema de aerotermia**

9.1.1. Sistema de climatización híbrido de Hitachi	61
9.1.2. Sistema de climatización híbrido de Mitsubishi.....	64
9.2. DEFINICIÓN DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN HÍBRIDO.....	67
10. COMPARACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS DEFINIDOS	69
11. CONCLUSIONES	70
12. TAREAS DE MEJORA DEL PROYECTO.....	71
13. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	72



LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1. Vista en planta de la vivienda.....	6
Figura 4.2. Vista frontal.....	7
Figura 4.3. Vista lateral derecha	7
Figura 4.4. Vista posterior	7
Figura 4.5. Vista lateral izquierda.....	7
Figura 4.6. Primera planta de la vivienda	8
Figura 4.7. Planta baja de la vivienda	8
Figura 4.8. Planta subterránea de la vivienda	9
Figura 4.9. Zonas a climatizar en la primera planta.....	10
Figura 4.10. Zonas a climatizar en la planta baja	11
Figura 4.11. Zonas a climatizar en la planta subterránea	12
Figura 7.1. Orientación de la vivienda	35
Figura 7.2. Sectorización angular. Figura A.1 del CTE DB-HE.....	35
Figura 8.1. Esquema del proceso de producción de ACS del sistema convencional.....	39
Figura 8.2. Sistema de climatización.....	47
Figura 8.3. Sistema de climatización de Hitachi	50
Figura 8.4. Sistema de climatización de Mitsubishi	54
Figura 9.1. Esquema del sistema de climatización híbrido	59
Figura 9.2. Sistema de climatización híbrido de Hitachi	62
Figura 9.3. Sistema de climatización híbrido de Mitsubishi	65



LISTA DE GRÁFICOS

Gráfica 6.1. Porcentaje horario del consumo diario de ACS en una vivienda (REE, 1998).....	17
Gráfica 7.1. Variación horaria de la carga total sensible.....	36
Gráfica 8.1. Demanda de ACS, ahorro de energía y cobertura solar para la iteración 1.....	42
Gráfica 8.2. Demanda de ACS, ahorro de energía y cobertura solar para la iteración 2.....	43



LISTA DE TABLAS

Tabla 4.1. Zonas a climatizar en la primera planta	10
Tabla 4.2. Zonas a climatizar en la planta baja	11
Tabla 4.3. Zonas a climatizar en la planta subterránea	12
Tabla 6.1. Demandas de ACS a 60 °C y valores mínimos de ocupación.....	14
Tabla 6.2. Zonas climáticas y contribuciones solares mínimas anuales.....	15
Tabla 6.3. Distribución de la demanda total de ACS en franjas horarias	17
Tabla 6.4. Potencia a entregar según franja horaria.....	18
Tabla 7.1. Condiciones interiores de diseño establecidas en el RITE	20
Tabla 7.2. Coeficientes de transmitancia térmica establecidos en el CTE DB-HE.....	23
Tabla 7.3. Temperaturas exteriores a los cerramientos	23
Tabla 7.4. Caudales mínimos de ventilación establecidos en el CTE DB-HS.....	24
Tabla 7.5. Pérdidas de calor sensible en cada zona	26
Tabla 7.6. Pérdidas de calor latente en cada zona.....	27
Tabla 7.7. Temperaturas exteriores a los cerramientos	29
Tabla 7.8. Potencias de los equipos conectados	33
Tabla 7.9. Ganancias de calor sensible en cada zona	37
Tabla 7.10. Ganancias de calor latente en cada zona.....	38
Tabla 8.1. Valores mensuales de irradiación global, temperatura media del aire y del agua de red y estimación de la demanda de ACS a 60 °C.....	41
Tabla 8.2. Equipos y accesorios de la instalación solar térmica	45
Tabla 8.3. Capacidades mínimas de climatización y equipos interiores	48
Tabla 8.4. Equipos y accesorios del sistema de climatización de Hitachi.....	51
Tabla 8.5. Equipos y accesorios del sistema de climatización de Mitsubishi	55



**Proyecto de implantación en una vivienda de
un sistema híbrido para la producción de ACS,
calefacción y refrigeración en base a un
sistema solar más un sistema de aerotermia**

Tabla 8.6. Coeficientes de paso e energía final a primaria y emisiones de CO ₂ (iambiente, 2018)	57
Tabla 8.7. Características comparativas de los procesos de producción	57
Tabla 9.1. Equipos y accesorios del sistema de climatización híbrido de Hitachi	63
Tabla 9.2. Equipos y accesorios del sistema de climatización híbrido de Mitsubishi	66
Tabla 9.3. Características comparativas de las soluciones propuestas	68
Tabla 10.1. Características comparativas de las soluciones propuestas	69



LISTA DE ABREVIATURAS

ACS: Agua Caliente Sanitaria

AFS: Agua Fría Sanitaria

SCOP: *Seasonal Coefficient Of Performance* (Coeficiente De Rendimiento Estacional)

SEER: *Seasonal Energy Efficiency Ratio* (Ratio de Eficiencia Energética Estacional)

NAF: Nivel de Actividad Física

PPD: *Predicted Percentage Dissatisfied* (Porcentaje Previsto de Insatisfechos)

EPA: *Environmental Protection Agency* (Agencia de Protección Ambiental)

CLTD: *Cooling Load Temperature Difference* (Diferencia de Temperatura para la Carga de Refrigeración)

ASHRAE: *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado)

SC: *Shading coefficient* (Coeficiente de Sombra)

SHGF: *Solar Heat Gain Factor* (Factor de Ganancia de Calor Solar)

CLF: *Cooling Load Factor* (Factor de Carga de Refrigeración)

PCS: Poder calorífico superior



1. Introducción

1.1. Objeto del proyecto

El objeto de este proyecto es valorar la opción de implementar un sistema de climatización híbrido para la producción de ACS, calefacción y refrigeración de una vivienda situada en Barcelona a partir de una instalación solar térmica y una instalación de climatización.

1.2. Alcance

La realización del proyecto comprenderá las siguientes acciones:

- Estudio de las normativas vigentes.
- Estudio de las necesidades de la vivienda.
- Dimensionado de los sistemas de producción.
- Valoración energética y económica de los sistemas.
- Comparación entre un sistema convencional y un sistema de climatización híbrido.

1.3. Especificaciones

La realización del proyecto no deberá cumplir con ninguna otra especificación económica, técnica y legal que no sean las ya reguladas por las normativas vigentes a nivel nacional, territorial y municipal. Estas normativas serán evaluadas por separado puesto que presentan limitaciones distintas entre ellas.



1.4. Justificación

Para que los huéspedes del hogar puedan satisfacer sus necesidades de bienestar con el uso de ACS, calefacción y refrigeración durante el año, es necesario que ésta disponga de los respectivos sistemas de producción.

Los sistemas convencionales se caracterizan por tratar la producción de ACS y la climatización por separado. Para abastecer la demanda de ACS se utiliza una instalación solar térmica con soporte de un elemento auxiliar, que consiste en una caldera de condensación. Por otro lado, para cubrir las necesidades de climatización se utilizan sistemas aire-aire.

Debido a que se trata de una vivienda de grandes dimensiones y un sistema convencional puede resultar muy costoso energéticamente, surge la opción de implementar un sistema que presente una gran eficiencia. Para ello, se valora implementar un sistema híbrido que mediante aerotermia sea capaz de producir calefacción y refrigeración, además de poder dar soporte a la instalación solar térmica sin la necesidad de instalar un elemento auxiliar. De este modo, se centralizan todos los procesos y se optimiza el uso de energías renovables.



2. Estado del arte

Hoy en día, ante el agotamiento y la destrucción de los recursos naturales y la situación de cambio climático, en el sector de las instalaciones de climatización existe la necesidad de ofrecer a los clientes sistemas que sean compatibles con el medio ambiente y tengan una huella ecológica reducida.

Las empresas del sector están comercializando equipos que sustituyen a las calderas de gas convencionales, aunque éstas disponen actualmente de rendimientos cercanos al 100% y se siguen ofreciendo al público. Estos equipos utilizan la aerotermia para calentar el ACS y se puede considerar que capturan energía renovable si su SCOP es igual o superior a 2,5 (Ivace, 2017).

Por otro lado, los sistemas aire-aire, que antiguamente ya se usaban en refrigeración, están siendo aprovechados también para trabajar en frío o calor mediante bombas de calor reversibles. Estos sistemas están formados por unidades exteriores como las bombas y por unidades interiores como conductos, *fancoils* y otros. La transferencia de energía entre los equipos se realiza con un circuito de refrigeración por el cual circula el refrigerante en distintos estados de agregación y presión.

Cuando la demanda de calefacción es superior a la de refrigeración el sistema trabaja en modo calor y absorbe energía del exterior. Para ello, la bomba hace circular líquido refrigerante a baja presión por una batería en contacto con el exterior para que éste se evapore y aumente su entropía. Posteriormente, la bomba comprime el gas refrigerante y lo envía al recuperador de calor para que lo transmita a las unidades interiores solicitantes. Estas unidades reciben el gas refrigerante a alta presión y lo condensan en baterías aportando calor al interior.

Por el contrario, si la demanda de refrigeración es superior a la de calefacción, el sistema trabaja en modo frío cogiendo calor del interior y entregándolo al exterior. En este caso, las baterías de las unidades interiores evaporan el líquido refrigerante a baja presión para absorber entropía del interior. Después, la bomba comprime el gas refrigerante y lo hace pasar por la batería exterior para que éste condense y ceda calor.



**Proyecto de implantación en una vivienda de
un sistema híbrido para la producción de ACS,
calefacción y refrigeración en base a un
sistema solar más un sistema de aerotermia**

El uso de la aerotermia significa una producción calorífica sostenible pues las empresas ya trabajan con eficiencias SCOP y SEER superiores a 2,5, hecho que confirma el uso de energías renovables. Además, siguen estudiando como incrementar estas eficiencias para que los consumos de energía eléctrica disminuyan y así causar un menor impacto ambiental.

3. Normativas

Las normativas y reglamentos que se usan durante el proyecto son los siguientes:

- **CTE DB-HE:** Documento Básico del Código Técnico de la Edificación que establece las reglas y los procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de ahorro de energía.
- **CTE DB-HS:** Documento Básico del Código Técnico de la Edificación que marca las reglas y los procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de salubridad.
- **Decreto 21/2006:** Resolución que regula la adopción de criterios ambientales y de ecoeficiencia en los edificios.
- **OMA de Barcelona:** Ordenanza general del Medio Ambiente urbano de Barcelona que tiene por objeto regular distintos aspectos como la contaminación térmica y acústica, la gestión de aguas y residuos, y la energía solar entre otros.
- **RITE:** Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios que fija las condiciones que deben cumplir las instalaciones destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene a través de las instalaciones de calefacción, climatización y ACS, para conseguir un uso racional de la energía.

4. Características de la vivienda

En esta sección se describe el domicilio, situado en Barcelona, sobre el cual se realiza el proyecto. En las siguientes figuras se muestra su proyección en planta y sus vistas: frontal, posterior y laterales.

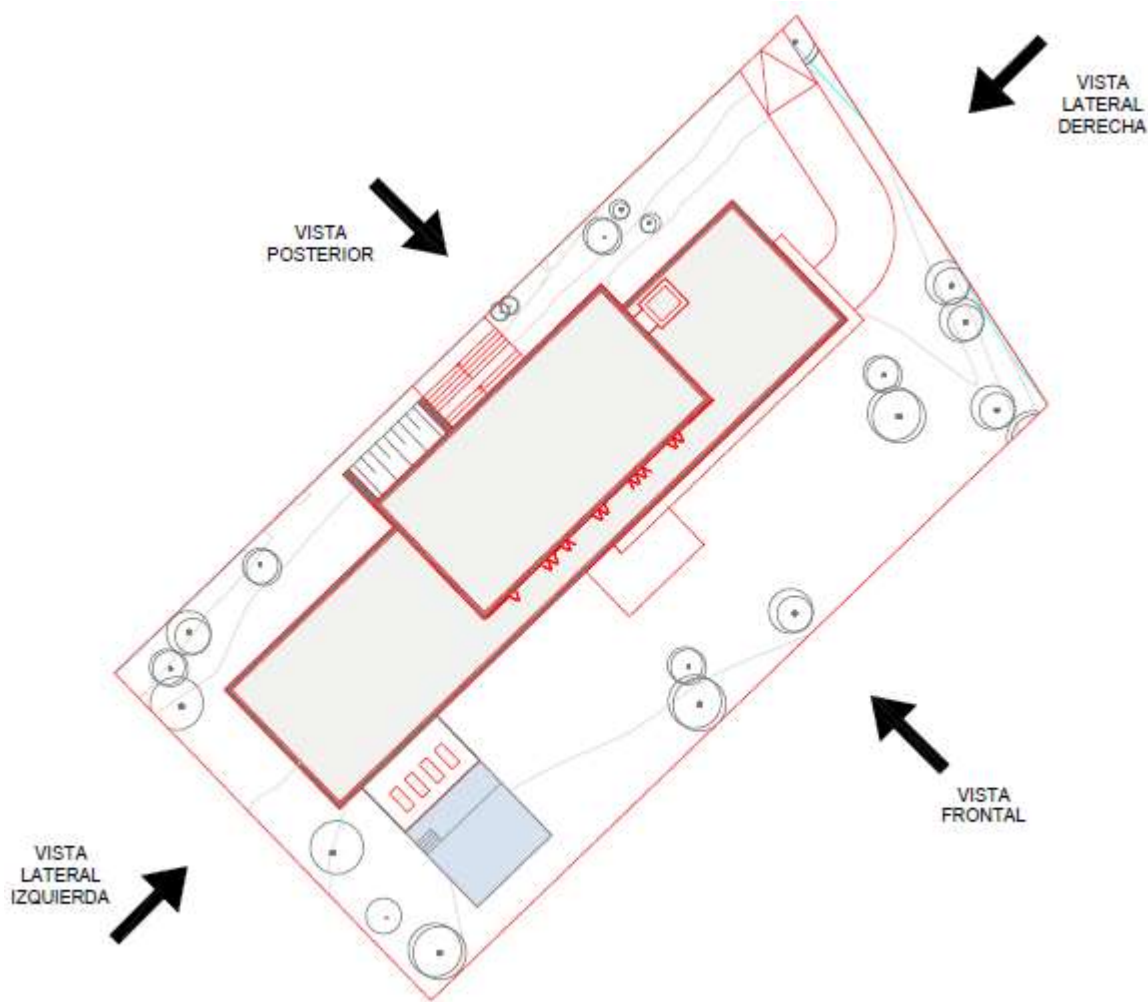


Figura 4.1. Vista en planta de la vivienda

Proyecto de implantación en una vivienda de
un sistema híbrido para la producción de ACS,
calefacción y refrigeración en base a un
sistema solar más un sistema de aerotermia

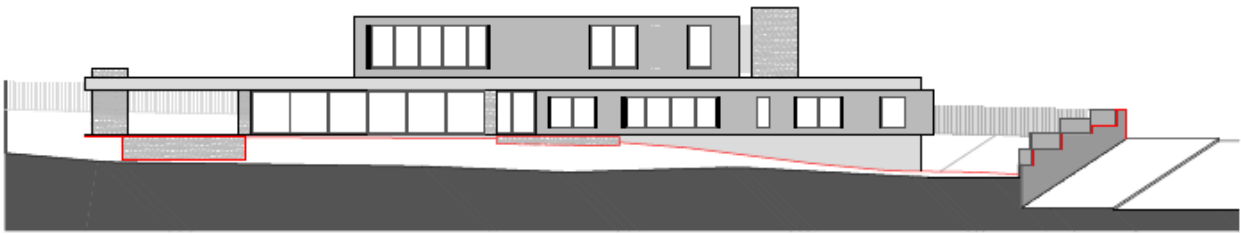


Figura 4.2. Vista frontal

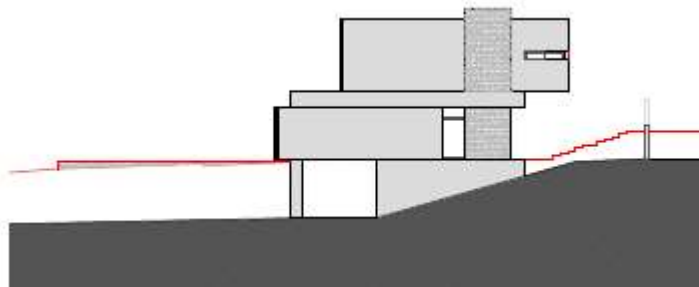


Figura 4.3. Vista lateral derecha

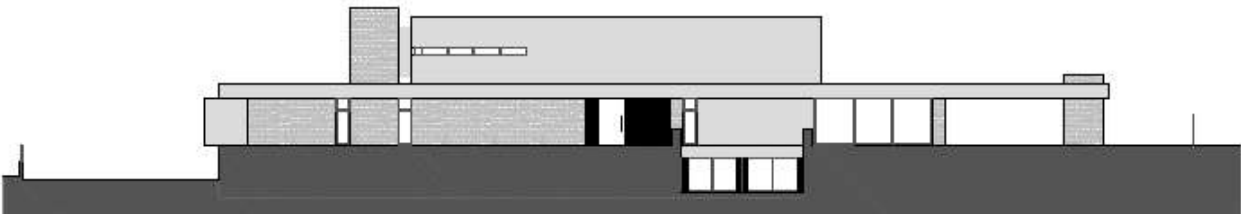


Figura 4.4. Vista posterior

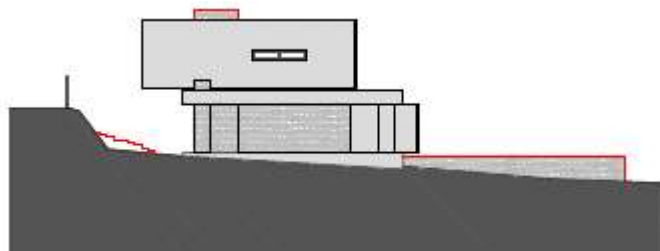


Figura 4.5. Vista lateral izquierda

**Proyecto de implantación en una vivienda de
un sistema híbrido para la producción de ACS,
calefacción y refrigeración en base a un
sistema solar más un sistema de aerotermia**

La vivienda está formada por tres plantas que se definen como primera planta, planta baja y planta subterránea. En las figuras 4.6, 4.7 y 4.8 se observan las proyecciones correspondientes.

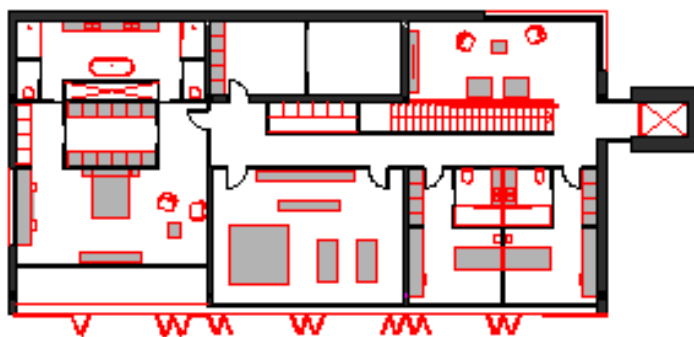


Figura 4.6. Primera planta de la vivienda

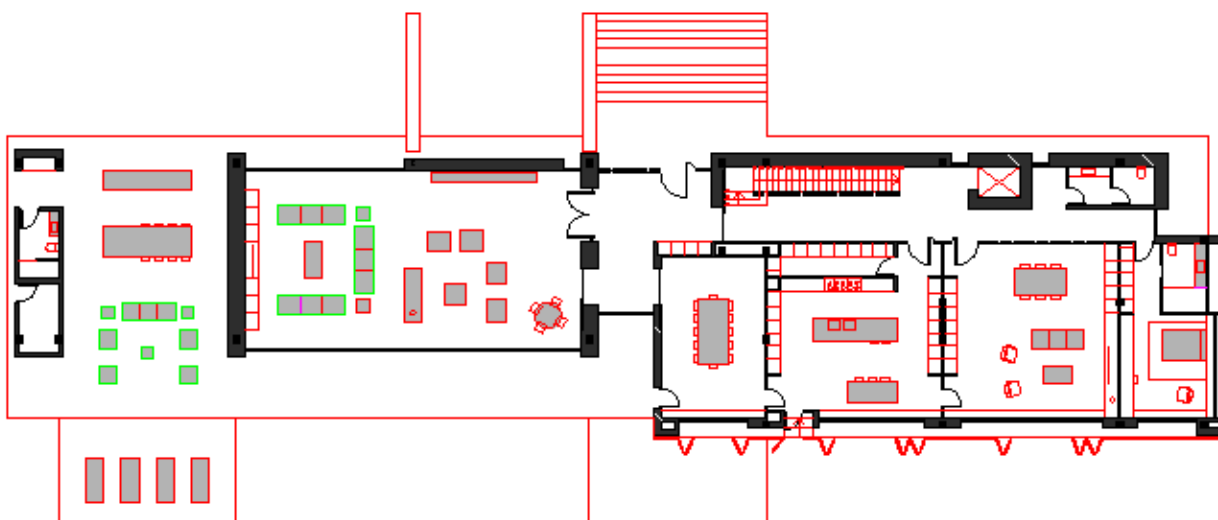


Figura 4.7. Planta baja de la vivienda

Proyecto de implantación en una vivienda de
un sistema híbrido para la producción de ACS,
calefacción y refrigeración en base a un
sistema solar más un sistema de aerotermia

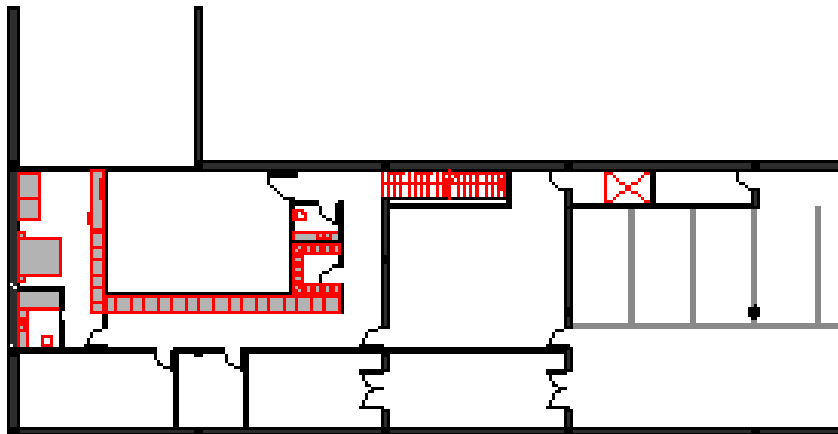


Figura 4.8. Planta subterránea de la vivienda

4.1. Zonas de la vivienda a climatizar

Cada planta contiene zonas o salas que, en función del uso que tengan para los huéspedes, necesitan estar climatizadas o no. En las siguientes figuras y tablas se señalan las zonas de cada planta a climatizar, su superficie y la ocupación de personas que tendrán.

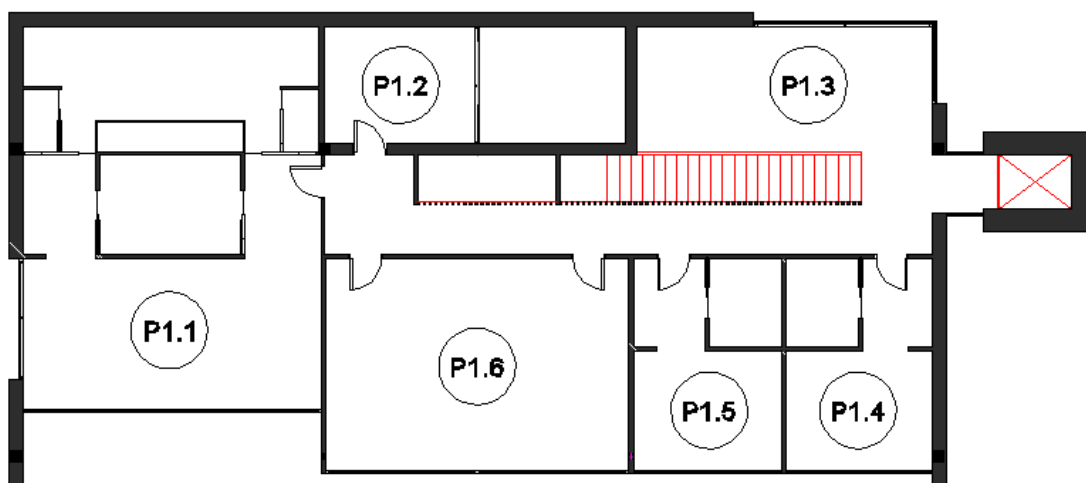


Figura 4.9. Zonas a climatizar en la primera planta

Tabla 4.1. Zonas a climatizar en la primera planta

Zona	Descripción	Superficie [m ²]	Ocupación [personas]
P1.1	Dormitorio doble	77,14	2
P1.2	Lavandería	12,05	1
P1.3	Salón y corredor	64,68	2
P1.4	Dormitorio esquina	20,90	1
P1.5	Dormitorio medio	21,34	1
P1.6	Estudio	43,23	3

Proyecto de implantación en una vivienda de
un sistema híbrido para la producción de ACS,
calefacción y refrigeración en base a un
sistema solar más un sistema de aerotermia

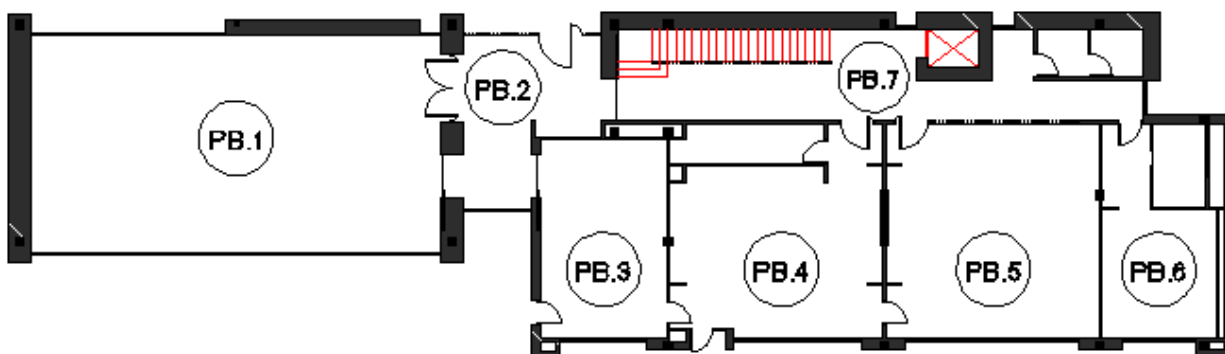


Figura 4.10. Zonas a climatizar en la planta baja

Tabla 4.2. Zonas a climatizar en la planta baja

Zona	Descripción	Superficie [m ²]	Ocupación [personas]
PB.1	Salón principal	122,47	5
PB.2	Entrada	27,59	0
PB.3	Comedor	34,54	5
PB.4	Cocina	61,08	3
PB.5	Salón interior	62,81	4
PB.6	Dormitorio	32,51	1
PB.7	Corredor	61,27	0

Proyecto de implantación en una vivienda de
un sistema híbrido para la producción de ACS,
calefacción y refrigeración en base a un
sistema solar más un sistema de aerotermia

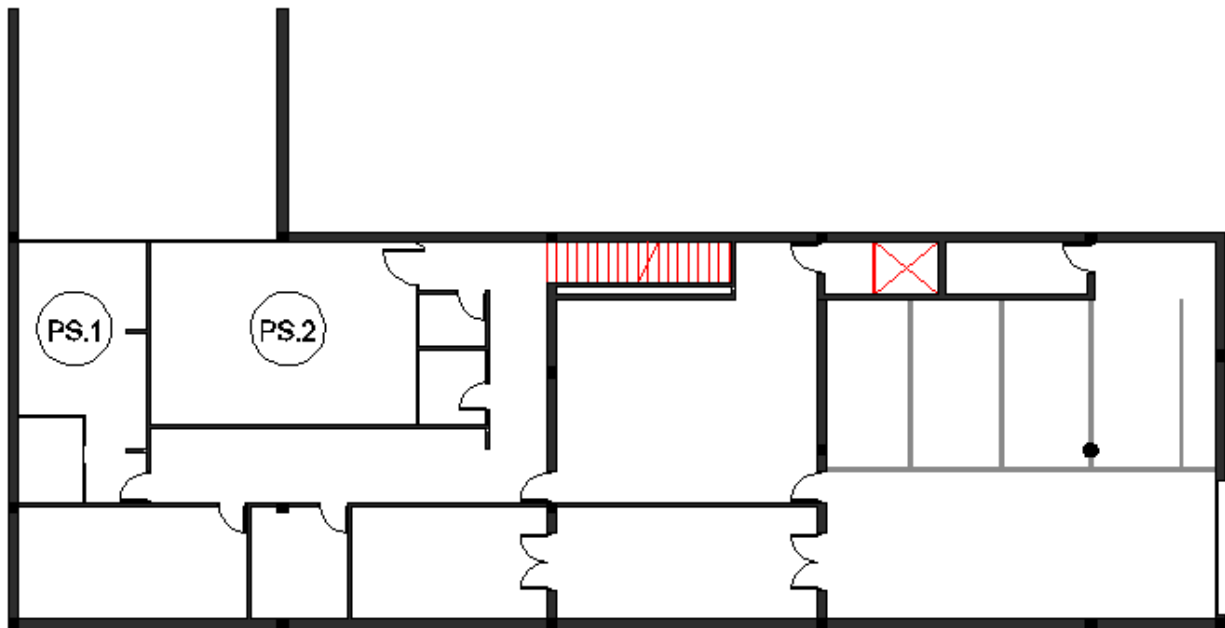


Figura 4.11. Zonas a climatizar en la planta subterránea

Tabla 4.3. Zonas a climatizar en la planta subterránea

Zona	Descripción	Superficie [m ²]	Ocupación [personas]
PS.1	Dormitorio	29,26	1
PS.2	Salón de juegos	42,66	2

5. Metodología

La metodología a seguir para la realización del proyecto se expone en los siguientes puntos.

5.1. *Estudio de las necesidades de la vivienda*

En primer lugar, teniendo en cuenta las normativas vigentes y las características del domicilio, se obtiene la demanda diaria de ACS y la potencia que debe tener el sistema para calentar el agua.

En segundo lugar, se calculan las necesidades térmicas de la vivienda para determinar las demandas de frío y calor que el sistema de climatización debe atender. Para realizar el estudio se definen las condiciones climáticas exteriores e interiores de proyecto, los métodos de cálculo y las diferentes variables que influyen en él, por ejemplo, la envolvente térmica, las fuentes de calor internas y las infiltraciones de aire por ventilación.

5.2. *Definición de sistemas y selección de equipos de producción*

Con las demandas de ACS y climatización determinadas se definen el sistema convencional y el sistema de climatización híbrido y se seleccionan los equipos necesarios para satisfacer las necesidades del habitáculo. Esta selección se lleva a cabo valorando distintas alternativas de climatización.

5.3. *Comparación de los sistemas*

Las características de los sistemas se comparan para elegir cual es la mejor opción a implementar, entre ellas se encuentran el modo de funcionamiento, el precio, la eficiencia y el impacto ambiental que generan. El sistema más óptimo es el adecuado para la implementación en el domicilio.

6. Estudio de necesidades: ACS

6.1. *Demanda diaria de ACS y contribución solar mínima anual*

La demanda de ACS de la vivienda y la contribución solar mínima se obtienen en base a las siguientes normativas:

- CTE DB-HE
- Decreto 21/2006
- OMA de Barcelona

Cada normativa tiene sus propios valores tabulados para determinar las variables mencionadas. Así pues, se comparan los valores de las normativas siguiendo el procedimiento de cálculo que establecen.

En primer lugar, se especifica que el agua se calentará a una temperatura de referencia de 60 °C para evitar la contaminación por legionelosis. La *Legionella* es una bacteria que se multiplica en aguas estancadas cuya temperatura se encuentra por debajo de los 60 °C (INSST, 1999).

En la tabla 6.1 se observa, según cada normativa, la demanda diaria por persona de ACS a 60 °C en una vivienda, el valor mínimo de ocupación sabiendo que el habitáculo tiene 5 dormitorios y la demanda total de ACS relacionando los parámetros anteriores.

Tabla 6.1. Demandas de ACS a 60 °C y valores mínimos de ocupación

Normativa	Demanda unitaria ACS [l/(día·persona)]	Personas (5 dormitorios)	Demanda total ACS [l/día]
CTE DB-HE	28	6	168
Decreto 21/2006	28	7	196
OMA de Barcelona	30	7	210

Proyecto de implantación en una vivienda de un sistema híbrido para la producción de ACS, calefacción y refrigeración en base a un sistema solar más un sistema de aerotermia

Una vez obtenida la demanda total de ACS, es necesario conocer la zona climática según la irradiación global para obtener la contribución mínima anual de energía solar térmica.

En el CTE DB-HE se considera que la provincia de Barcelona tiene una irradiación global media de 4,56 kWh/(m²·día) (AEMET, 2012).

Por otro lado, los valores de demanda total no superan los 1.000 l/día bajo ninguna de las normativas. En estas circunstancias, la zona climática y la contribución solar mínima anual requerida por cada normativa se muestran en la tabla 6.2.

Tabla 6.2. Zonas climáticas y contribuciones solares mínimas anuales

Normativa	Zona climática	Contribución solar mínima anual [%]
CTE	III	40
Decreto 21/2006	III	50
OMA de Barcelona	-	60

Con los resultados dispuestos en las tablas anteriores se confirma que la normativa a seguir para dimensionar la producción de ACS es la OMA de Barcelona, debido a que presenta el caudal de demanda total de ACS y el porcentaje de contribución solar mínima anual más elevados.

El sistema de producción de ACS deberá abastecer una demanda total de ACS de 210 l/día y la instalación solar térmica tendrá que aportar anualmente, como mínimo, el 60% de la energía necesaria para producir el ACS.

6.2. Potencia necesaria para producir ACS

Mediante la ecuación 6.1, se obtiene la demanda energética necesaria para calentar los 210 l/día, correspondientes a la demanda total de ACS.

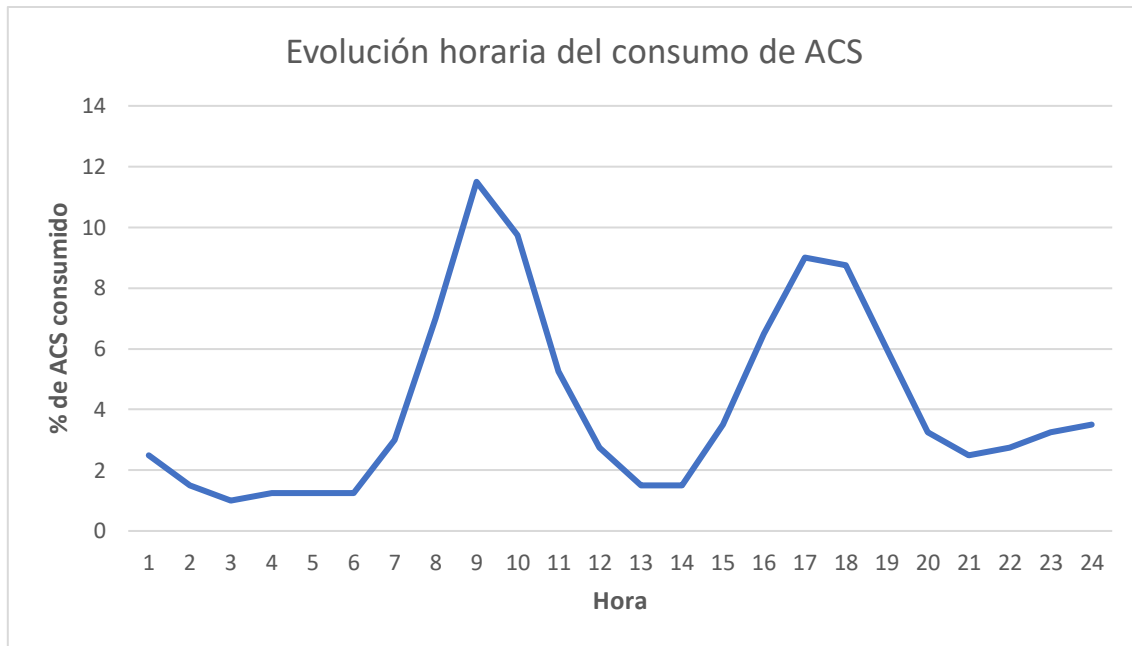
$$L_d = D_d \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{ref} - T_{af}) \quad (6.1)$$

L_d	demanda energética	kWh/día
D_d	demanda total de ACS	l/día
$\rho = 1 \text{ kg/l}$	densidad del agua	
$c_p = 0,00116 \text{ kWh/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$	calor específico del agua	
$T_{ref} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$	temperatura de referencia del ACS	
T_{af}	temperatura media anual del agua fría	$^\circ\text{C}$

El CTE DB-HE indica que la temperatura media anual del agua fría en Barcelona es de 13,75 $^\circ\text{C}$ y la OMA de Barcelona señala que es 17,53 $^\circ\text{C}$. La temperatura marcada por el CTE DB-HE maximiza el salto térmico y, como consecuencia, la demanda energética.

Resolviendo la ecuación anterior, el sistema de producción de ACS deberá generar 11,27 kWh/día para cubrir la demanda de ACS.

Por otra parte, la necesidad de producir ACS depende de la evolución horaria de la demanda. En la gráfica 6.1 se muestra el porcentaje de ACS que se consume en una vivienda en cada hora a lo largo de un día.



Gràfica 6.1. Porcentaje horario del consumo diario de ACS en una vivienda (REE, 1998)

La gráfica se puede dividir en franjas horarias según si el consumo es bajo o elevado. En la tabla 6.3 se indican las franjas horarias que se han considerado, el porcentaje y cantidad de ACS consumida en cada una de ellas y la energía necesaria para cubrir estas cantidades de ACS, teniendo en cuenta que la demanda total de ACS es de 210 l/día.

Tabla 6.3. Distribución de la demanda total de ACS en franjas horarias

Franja horaria	Porcentaje ACS consumida [%]	Consumo ACS [l]	Demanda energética [kWh]
De 2h a 7h	6,25	13,125	0,70
De 7h a 13h	39,25	82,425	4,42
De 13h a 15h	3	6,3	0,34
De 15h a 21h	37	77,7	4,17
De 21h a 2h	14,5	30,45	1,64

Proyecto de implantación en una vivienda de un sistema híbrido para la producción de ACS, calefacción y refrigeración en base a un sistema solar más un sistema de aerotermia

Puesto que ambos sistemas, convencional e híbrido, producen ACS usando un tanque de acumulación, se considera que la producción de ACS se debe efectuar durante la franja horaria anterior al consumo, por ejemplo, si de 7h a 13h se consumen 82,425 litros, el sistema deberá generar 4,42 kWh entre las 2h y las 7h.

Relacionando los valores de energía y las franjas horarias y siguiendo la operativa mencionada, se obtiene la potencia que debe tener el sistema. En la tabla 6.4 se observa la potencia que se entrega en cada franja horaria.

Tabla 6.4. Potencia a entregar según franja horaria

Franja horaria	Energía a producir [kWh]	Potencia a entregar [kW]
De 2h a 7h	4,42	0,88
De 7h a 13h	0,34	0,06
De 13h a 15h	4,17	2,08
De 15h a 21h	1,64	0,27
De 21h a 2h	0,70	0,14

La tabla muestra que la máxima potencia que el sistema debe entregar son 2,08 kW, que corresponden a los 4,17 kWh que se deben producir entre las 13h y las 15h, cubriendo así la demanda de ACS existente entre las 15h y las 21h.

7. Estudio de necesidades: Climatización

Las necesidades térmicas de la vivienda se calculan para conocer las capacidades caloríficas que debe tener el sistema de climatización. Para determinar las necesidades de calefacción y de refrigeración se consideran unas condiciones climáticas ajustadas a pleno invierno y verano respectivamente. De este modo, se garantiza que el sistema de climatización será capaz de cubrir la demanda de bienestar durante todo el año.

A continuación, se definen las condiciones climáticas de proyecto y los cálculos de calefacción y refrigeración.

7.1. Condiciones climáticas de proyecto

7.1.1. Condiciones exteriores

En primer lugar, se establecen las condiciones climáticas exteriores que, juntamente con las condiciones climáticas interiores, servirán para conocer las diferencias de temperatura y humedad absoluta entre el aire exterior e interior del hogar.

En invierno, la temperatura mínima exterior de proyecto, con un percentil del 99%, es de 2,1 °C y la humedad relativa es del 64%. En verano, la temperatura máxima exterior de proyecto, con un percentil del 1%, es de 30,3 °C y la humedad relativa es del 55%. (IDAE, 2010).

Los percentiles del 99% en invierno y del 1% en verano son adecuados para el cálculo en viviendas. Estos percentiles indican que sólo el 1% de las veces en que se alcance una temperatura mínima o máxima, ésta será inferior o superior a la determinada.



7.1.2. Condiciones interiores

En segundo lugar, se fijan las condiciones climáticas interiores de la vivienda siguiendo las normativas vigentes.

Se considera que una persona suele estar durmiendo o bien sentado o tumbado durante la mayoría del tiempo en el que permanece en su casa, presentando un NAF entre 0,95 y 1,2. Este intervalo corresponde a índices de actividad metabólica esencialmente sedentaria. (Redacción Onmeda, 2016).

Con estos índices de actividad metabólica y un PPD entre el 10% y el 15%, se obtienen del RITE las temperaturas operativas y las humedades relativas de diseño. Los valores se muestran en la tabla 7.1.

Tabla 7.1. Condiciones interiores de diseño establecidas en el RITE

Estación	Temperatura operativa [°C]	Humedad relativa [%]
Invierno	21 – 23	40 – 50
Verano	23 – 25	45 – 60

Aplicando el valor medio, las temperaturas operativas de invierno y de verano son 22 °C y 24 °C respectivamente. Estas temperaturas operativas coinciden con las temperaturas que deberá tener el aire ambiente interior, puesto que se estima que la temperatura media radiante es la misma que la temperatura seca del aire.



Proyecto de implantación en una vivienda de un sistema híbrido para la producción de ACS, calefacción y refrigeración en base a un sistema solar más un sistema de aerotermia

Por otro lado, según la EPA¹, la humedad relativa ideal en el interior de un domicilio tiene un valor comprendido entre el 30% y el 50%. En consecuencia, se restringe al 50% el valor límite superior indicado en el RITE (EPA, 2017).

En invierno, la humedad absoluta del exterior es muy baja, mientras que en verano es muy alta. Para evitar tener una gran pérdida o ganancia de calor latente causada por la diferencia entre humedades absolutas exteriores e interiores, se determina que la humedad relativa del interior en invierno debe ser la mínima permitida y en verano la máxima permitida. Así pues, las humedades relativas del interior serán del 40% en invierno y del 50% en verano.

¹ EPA, *U.S. Environmental Protection Agency*. Agencia federal de los Estados Unidos encargada de proteger la salud humana y proteger el medio ambiente: aire, agua y suelo.

7.2. Demanda de calefacción

Tal y como se ha mencionado anteriormente, la demanda de calefacción se calcula en pleno invierno para conocer la capacidad de generar calor que debe tener el sistema de climatización. La demanda máxima de calefacción se obtiene considerando nulas la radiación solar y las cargas interiores producidas por personas, equipos e iluminación, ya que éstas aportan calor al habitáculo. Únicamente se tienen en cuenta las cargas térmicas que significan pérdidas de calor.

7.2.1. Pérdidas por cerramientos

Para calcular las pérdidas de calor a través de la envolvente térmica de la vivienda se utiliza la ecuación 7.1. Esta ecuación se aplica a los cerramientos que separan una zona habitable de otra no habitable o del exterior.

$$Q_{s,tra} = U \cdot A \cdot (T_{ext} - T_{int}) \quad (7.1)$$

$Q_{s,tra}$	pérdida de calor sensible por transmisión	W
U	transmitancia térmica	W/(m ² ·°C)
A	superficie del cerramiento	m ²
T_{ext}	temperatura exterior al cerramiento	°C
$T_{int} = 22 \text{ °C}$	temperatura interior al cerramiento	

Los valores de transmitancia térmica están relacionados con las características de los cerramientos, pues estos coeficientes varían en función de los materiales que conforman la envolvente térmica. En este proyecto, debido a que no se dispone de la información necesaria, se utilizan los coeficientes expuestos en el CTE DB-HE, el cual indica los valores límite de transmitancia térmica que pueden tener los cerramientos para que la construcción de la vivienda sea correcta. En la tabla 7.2 se muestran los coeficientes establecidos para un domicilio situado en Barcelona, cuya zona climática es C2.

Tabla 7.2. Coeficientes de transmitancia térmica establecidos en el CTE DB-HE

Cerramiento	Transmitancia térmica [W/(m ² ·°C)]
Muro exterior	0,73
Muro interior horizontal	0,95
Muro interior vertical	0,95
Cubierta	0,41
Suelo	0,50
Ventana	3,10

Por otro lado, la temperatura exterior al cerramiento toma el valor del medio que está en contacto con éste. Este medio puede ser el aire exterior, el terreno o una zona no habitable de la vivienda, por ejemplo, un trastero o una bodega situados en el sótano. Las temperaturas exteriores al cerramiento que se utilizarán en el cálculo de calefacción se indican en la tabla 7.3.

Tabla 7.3. Temperaturas exteriores a los cerramientos

Medio exterior	Temperatura [°C]
Aire exterior	2,1
Terreno	8
Hueco del ascensor	12,05
Sótano	13,525

La temperatura del aire exterior se especifica en el apartado 7.1.1 sobre las condiciones climáticas exteriores de proyecto. La temperatura del terreno se menciona en la normativa obsoleta NBE-CT-79 sobre condiciones térmicas en los edificios, puesto que actualmente no se dispone de los datos necesarios. La temperatura en el hueco del ascensor es el resultado de un promedio realizado entre las temperaturas exterior e interior. Por último, la temperatura del sótano resulta de un promedio entre las temperaturas exterior, interior y de terreno.

7.2.2. Pérdidas por ventilación

El CTE DB-HS exige que el hogar debe estar constantemente ventilado y establece unos caudales mínimos para la ventilación. En invierno, esta ventilación supone una pérdida sensible y latente de calor, pues las condiciones exteriores de temperatura y humedad absoluta son inferiores a las del interior de la vivienda, tal y como se explica en el apartado 7.1 sobre condiciones climáticas de proyecto.

Los caudales mínimos de ventilación exigidos por el CTE DB-HS para habitáculos con más de 3 dormitorios se observan en la tabla 7.4.

Tabla 7.4. Caudales mínimos de ventilación establecidos en el CTE DB-HS

Zona	Caudal mínimo de ventilación [l/s]
Dormitorio principal	8
Resto de dormitorios	4
Salones de estar, comedores y otros	10

Las pérdidas de calor sensible y latente se cuantifican resolviendo las ecuaciones 7.2 y 7.3 respectivamente. Estas ecuaciones relacionan los caudales mencionados con las diferencias de temperaturas y humedades absolutas.

$$Q_{s,ven} = q_v \cdot 1,23 \cdot (T_{ext} - T_{int}) \quad (7.2)$$

$Q_{s,ven}$ pérdida de calor sensible por ventilación W

q_v caudal de ventilación l/s

$T_{ext} = 2,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatura exterior

$T_{int} = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatura interior

Para el cálculo de las pérdidas de calor latente, las humedades absolutas exteriores e interiores se obtienen relacionando la temperatura y la humedad relativa mediante el diagrama psicrométrico. Por ejemplo, en el exterior, si la temperatura es de 2,1 °C y la humedad relativa es del 64%, la humedad absoluta es de 2,8 g de agua por cada kg de aire.

$$Q_{l,ven} = q_v \cdot 3,01 \cdot (W_{ext} - W_{int}) \quad (7.3)$$

$Q_{l,ven}$ pérdida de calor latente por ventilación W

q_v caudal de ventilación l/s

$W_{ext} = 2,8 \text{ g/kg}$ humedad absoluta exterior

$W_{int} = 6,6 \text{ g/kg}$ humedad absoluta interior

7.2.3. Carga total de calefacción

Con todos los parámetros definidos anteriormente se evalúan las pérdidas en cada una de las zonas a climatizar. Las pérdidas de calor sensible se muestran en la tabla 7.5, mientras que las pérdidas de calor latente se indican en la tabla 7.6.

**Proyecto de implantación en una vivienda de
un sistema híbrido para la producción de ACS,
calefacción y refrigeración en base a un
sistema solar más un sistema de aerotermia**

Tabla 7.5. Pérdidas de calor sensible en cada zona

Planta	Zona	$Q_{s,tra}$ [W]	$Q_{s,ven}$ [W]	$Q_{s,total}$ [W]
Primera planta	Dormitorio doble	-1.636	-196	-1.832
	Lavandería	-330	-245	-575
	Salón y corredor	-1.708	-245	-1.953
	Dormitorio esquina	-1.039	-98	-1.137
	Dormitorio medio	-844	-98	-942
	Estudio	-1.805	-245	-2.050
Planta baja	Salón principal	-5.867	-245	-6.111
	Entrada	-1.062	-245	-1.307
	Comedor	-1.084	-245	-1.329
	Cocina	-1.482	-245	-1.727
	Salón interior	-1.942	-245	-2.186
	Dormitorio	-1.364	-98	-1.462
	Corredor	-2.051	-245	-2.296
Planta subterránea	Dormitorio	-965	-98	-1.063
	Salón de juegos	-1290	-245	-1.535

Las pérdidas de calor sensible indican, en valor absoluto, las capacidades mínimas de calefacción que deben tener los equipos de climatización a instalar. Por ejemplo, la cocina debe tener un equipo capaz de producir 1.727 W de calor.

Tabla 7.6. Pérdidas de calor latente en cada zona

Planta	Zona	$Q_{l,ven}$ [W]	$Q_{l,total}$ [W]
Primera planta	Dormitorio doble	-92	-92
	Lavandería	-114	-114
	Salón y corredor	-114	-114
	Dormitorio esquina	-46	-46
	Dormitorio medio	-46	-46
	Estudio	-114	-114
Planta baja	Salón principal	-114	-114
	Entrada	-114	-114
	Comedor	-114	-114
	Cocina	-114	-114
	Salón interior	-114	-114
	Dormitorio	-46	-46
	Corredor	-114	-114
Planta subterránea	Dormitorio	-46	-46
	Salón de juegos	-114	-114

Debido a que los equipos de climatización a valorar no tienen la capacidad de producir calor latente, los huéspedes deberán tener soluciones para contrarrestar estas pérdidas y mantener estable la humedad relativa del interior. Puede ser adecuado el uso de humidificadores o vegetación interior.

7.3. Demanda de refrigeración

La demanda de refrigeración se calcula en pleno verano para conocer la capacidad de generar frío que debe tener el sistema de climatización. A diferencia del cálculo de la demanda máxima de calefacción, en la demanda máxima de refrigeración se consideran todas las cargas exteriores e interiores que aportan calor a la vivienda.

7.3.1. Ganancias por cerramientos

Las ganancias de calor a través de la envolvente térmica se calculan, de igual modo que en la demanda de calefacción, usando la ecuación 7.4. Ahora bien, esta ecuación no es aplicable a los cerramientos que quedan expuestos al sol, debido a que la radiación solar hace aumentar la temperatura de estos cerramientos y, en consecuencia, aumenta la ganancia de calor.

$$Q_{s,tra} = U \cdot A \cdot (T_{ext} - T_{int}) \quad (7.4)$$

$Q_{s,tra}$	ganancia de calor sensible por transmisión	W
U	transmitancia térmica	W/(m ² ·°C)
A	superficie del cerramiento	m ²
T_{ext}	temperatura exterior al cerramiento	°C
$T_{int} = 24$ °C	temperatura interior al cerramiento	

Los coeficientes de transmitancia térmica toman los mismos valores utilizados en el cálculo de la demanda de calefacción ya que se analiza la misma envolvente térmica. Estos coeficientes se han anotado en la tabla 7.2.

Las temperaturas exteriores al cerramiento sí que varían respecto al cálculo de la demanda de calefacción, aunque se obtienen siguiendo el mismo criterio. Estas temperaturas se especifican en la tabla 7.7.

Tabla 7.7. Temperaturas exteriores a los cerramientos

Medio exterior	Temperatura [°C]
Aire exterior	30,3
Terreno	8
Hueco del ascensor	27,15
Sótano	21,575

Por otro lado, para cuantificar las ganancias de calor en los cerramientos expuestos al sol se utiliza el método de la CLTD², el cual tiene en cuenta el calentamiento por la radiación solar. La ecuación 7.5 representa las ganancias de calor de estos cerramientos.

$$Q_{s,tra} = U \cdot A \cdot CLTD \quad (7.5)$$

$Q_{s,tra}$	ganancia de calor sensible por transmisión	W
U	transmitancia térmica	W/(m ² ·°C)
A	superficie del cerramiento	m ²
$CLTD$	diferencia de temperatura equivalente	°C

El ASHRAE³ presenta unas tablas con valores de CLTD bajo unas condiciones específicas. Puesto que la vivienda tiene unas condiciones que difieren de las determinadas en el ASHRAE, se corrigen estos valores con la ecuación 7.6.

² CLTD, *Cooling Load Temperature Difference*. Método de cálculo para la carga de refrigeración que determina con valores tabulados el salto térmico existente en los cerramientos en contacto con la radiación solar. Los valores tabulados dependen de la orientación y composición del cerramiento y de la evolución horaria y mensual. Este método se introduce inicialmente en el manual ASHRAE de 1979 sobre las cargas de refrigeración y calefacción.

³ ASHRAE, *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*. Sociedad internacional que promueve y fomenta un mundo más sostenible con propuestas tecnológicas centradas en las ciencias de la calefacción, ventilación, aire acondicionado y refrigeración.

$$CLTD_{corr} = [(CLTD + LM) \cdot K + (25,5 - T_R) + (T_0 - 29,4)] \cdot f \quad (7.6)$$

$CLTD_{corr}$	diferencia de temperatura equivalente corregida	°C
$CLTD$	diferencia de temperatura equivalente	°C
LM	corrección de latitud, mes y orientación	°C
$K = 1$	factor corrector para cerramientos de color claro	
$T_R = 24 \text{ °C}$	temperatura interior de proyecto	
T_0	diferencia de temperatura media	°C
$f = 1$	factor corrector para cubiertas planas	

Cada tipo de cerramiento, ya sea una cubierta, un muro o un cristal, tiene sus propios valores de CLTD en función de sus características constructivas, del mes y hora solar de estudio y de su orientación. Para determinar estos valores se considera que, las cubiertas son de cielo raso, con 100 mm de hormigón armado y 25 mm de aislamiento, mientras que los muros pertenecen al grupo C y los cristales son de doble vidrio ordinario. Los valores de CLTD de cada tipo de cerramiento considerado se muestran en las tablas 2.1, 2.2, y 2.3 del anexo I.

Los factores de corrección de latitud, mes y orientación provocan una variación en la CLTD de las cubiertas y de los muros en función del mes de estudio y de la orientación. Estos factores se reflejan en la tabla 2.4 del anexo I.

Por último, la diferencia de temperatura media resulta de la ecuación 7.7, que relaciona la temperatura máxima exterior de proyecto y la variación diaria de temperatura.

$$T_0 = T_{max} - (\Delta T \cdot 0,5) \quad (7.7)$$

T_0	diferencia de temperatura media	°C
$T_{max} = 30,3 \text{ °C}$	temperatura máxima exterior de proyecto refrigeración	
ΔT	variación diaria de temperatura	°C

La variación diaria de temperatura en Barcelona es de 10,2 °C (IDAE, 2010).

7.3.2. Ganancias por radiación

Las ganancias de calor por radiación afectan únicamente a los cristales y se miden usando la ecuación 7.8.

$$Q_{s,rad} = A \cdot SC \cdot SHGF_0 \cdot CLF \quad (7.8)$$

$Q_{s,rad}$	ganancia de calor sensible por radiación	W
A	superficie del cerramiento	m ²
SC	coeficiente de sombra	
$SHGF_0$	máxima ganancia de calor por el cristal	W/m ²
CLF	factor para la carga de refrigeración	

El coeficiente de sombra varía en función del tipo de cristal y de la protección que tenga. En el apartado 7.3.1 se ha definido que los cristales de la vivienda son de doble vidrio ordinario. Asimismo, algunos cristales del domicilio están protegidos por persianas exteriores. Los cristales que no están protegidos tienen un coeficiente de sombra de 0,81, mientras que los que sí están protegidos tienen un coeficiente de 0,57 (ASHRAE, 1997).

Por otro lado, el ASHRAE también presenta una tabla con los coeficientes de máxima ganancia para la carga de refrigeración ($SHGF_0 \times CLF$). Esta tabla, igual que las que comprenden los valores de CLTD, indica los coeficientes en función del mes y hora solar de estudio y de la orientación del cristal. Estos coeficientes se encuentran en la tabla 2.5 del anexo I.

7.3.3. Ganancias por ventilación

En verano, la ventilación supone una ganancia de calor sensible y latente, ya que las condiciones exteriores de temperatura y humedad absoluta son superiores a las del interior del hogar.

Teniendo en cuenta los caudales mínimos de ventilación exigidos por el CTE DB-HS de la tabla 7.4, se evalúan las ganancias de calor sensible y latente mediante las ecuaciones 7.9 y 7.10. Estas ecuaciones son las mismas que se han empleado en la demanda de calefacción, pero en refrigeración se obtienen ganancias debido a las diferencias positivas de temperaturas y humedades absolutas.

$$Q_{s,ven} = q_v \cdot 1,23 \cdot (T_{ext} - T_{int}) \quad (7.9)$$

$Q_{s,ven}$ ganancia de calor sensible por ventilación W

q_v caudal de ventilación l/s

$T_{ext} = 30,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatura exterior

$T_{int} = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatura interior

De igual modo, con el diagrama psicrométrico se extraen las humedades absolutas exterior e interior de verano al relacionar las temperaturas y las humedades relativas.

$$Q_{l,ven} = q_v \cdot 3,01 \cdot (W_{ext} - W_{int}) \quad (7.10)$$

$Q_{l,ven}$ ganancia de calor latente por ventilación W

q_v caudal de ventilación l/s

$W_{ext} = 15 \text{ g/kg}$ humedad absoluta exterior

$W_{int} = 9,3 \text{ g/kg}$ humedad absoluta interior

7.3.4. Ganancias por ocupación

La ocupación en cada zona de la vivienda supone una ganancia de calor sensible y latente. Se ha considerado en el apartado 7.1.2, sobre condiciones climáticas interiores, que los huéspedes tienen un NAF esencialmente sedentario. A estos niveles, una persona produce 60 W de calor sensible y 40 W de calor latente (ASHRAE, 1997).

Con los valores de ocupación establecidos en el apartado 4.1, en el cual se definen las zonas a climatizar, se calculan las ganancias de calor correspondientes.

7.3.5. Ganancias por equipos

Las zonas habitables del domicilio contienen equipos que generan calor cuando están en funcionamiento, desde televisores pequeños situados en los dormitorios a equipos frigoríficos instalados en la cocina.

Se estima que los equipos electrónicos como los televisores, ordenadores y *home cinemas* producen una cantidad de calor igual al consumo que tienen, aun así, estos equipos no están en uso permanente, por lo que se aplica un coeficiente de simultaneidad a los valores de calor generado. En cambio, los equipos frigoríficos están funcionando permanentemente y no se les aplica este coeficiente.

Por otro lado, existen equipos como las lavadoras, las secadoras de ropa y los lavavajillas que presentan unos rendimientos mecánicos del 90%, siendo el 10% restante la energía que pierden en forma de calor y que supone una ganancia para la vivienda.

En la tabla 7.8 se listan las potencias caloríficas los equipos que están en conectados al hogar.

Tabla 7.8. Potencias de los equipos conectados

Equipo	Potencia sensible [W]
Televisor pequeño	37,5
Televisor grande	75
Ordenador portátil	15
Ordenador sobremesa	50
Impresora	45
Equipo Hi-Fi	15

Equipo <i>home cinema</i>	18
Sistema de alarma	5
Plantilla de inducción	170
Horno	83
Mini frigorífico	80
Frigorífico	320
Congelador	320
Lavadora	12
Secadora de ropa	50
Lavavajillas*	10

* El Lavavajillas tiene una potencia latente de 22 W

7.3.6. Ganancias por iluminación

Finalmente, la iluminación del habitáculo también supone un aumento de calor sensible. El CTE DB-HE limita en 10 W/m^2 la potencia máxima de iluminación en viviendas. Relacionando esta potencia y las superficies de las zonas establecidas en el apartado 4.1 resultan las ganancias de calor provocadas por la iluminación.

7.3.7. Carga total de refrigeración

A diferencia del cálculo de la carga total de calefacción, para evaluar las ganancias en cada una de las zonas a climatizar es necesario conocer la orientación de cada muro y el mes y hora solar de estudio, debido a que estas variables influyen directamente en la valoración de las ganancias por cerramientos y radiación.

**Proyecto de implantación en una vivienda de
un sistema híbrido para la producción de ACS,
calefacción y refrigeración en base a un
sistema solar más un sistema de aerotermia**

En las figuras 7.1 y 7.2 se muestran la orientación de la casa y la sectorización angular estipulada por el CTE DB-HE.

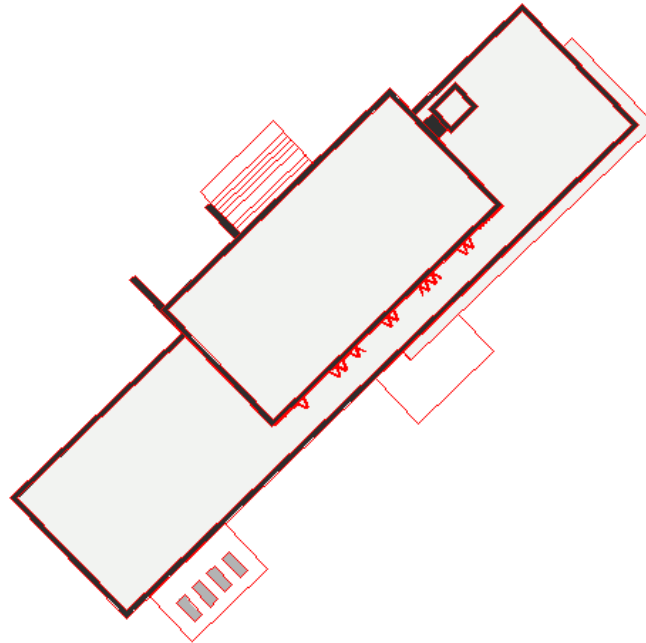


Figura 7.1. Orientación de la vivienda

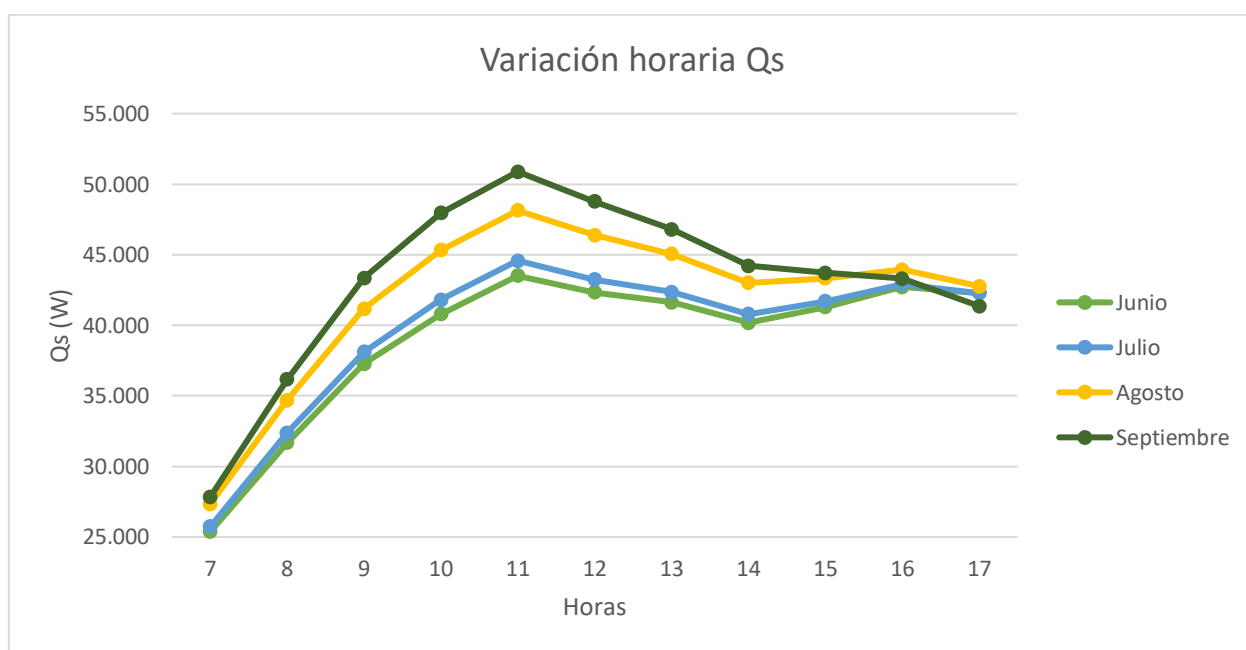


Norte	$\alpha_0 < 22,5; \alpha_0 \geq 337,5;$
Noreste	$22,5 \leq \alpha_0 < 60$
Este	$60 \leq \alpha_0 < 111$
Sureste	$111 \leq \alpha_0 < 162$
Sur	$162 \leq \alpha_0 < 198$
Suroeste	$198 \leq \alpha_0 < 249$
Oeste	$249 \leq \alpha_0 < 300$
Noroeste	$300 \leq \alpha_0 < 337,5$

Figura 7.2. Sectorización angular. Figura A.1 del CTE DB-HE

En la figura 7.2, el parámetro α_0 corresponde al ángulo que forman el norte geográfico y la dirección normal exterior del cerramiento. Así pues, la envolvente térmica del domicilio se encuentra en las orientaciones noreste, sureste, suroeste y noroeste. Con ello, se cuantifican las ganancias por cerramientos y radiación siguiendo el método de la CLTD.

Sumando todas las ganancias existentes de calor sensible se obtiene la carga total sensible para cada mes y hora solar de estudio. Estas cargas totales se representan en la gráfica 7.1.



Gráfica 7.1. Variación horaria de la carga total sensible

Se observa en la gráfica que la demanda máxima de refrigeración se produce en septiembre a las 11 horas de la mañana, pues la suma de las ganancias de calor sensible de todas las zonas climatizadas del habitáculo está por encima del resto, llegando a superar los 50.000 W.

Finalmente, en las tablas 7.9 y 7.10 se muestran las ganancias de calor sensible y latente que toman parte en cada una de las zonas.

**Proyecto de implantación en una vivienda de
un sistema híbrido para la producción de ACS,
calefacción y refrigeración en base a un
sistema solar más un sistema de aerotermia**

Tabla 7.9. Ganancias de calor sensible en cada zona

Planta	Zona	$Q_{s,tra}$ [W]	$Q_{s,rad}$ [W]	$Q_{s,ven}$ [W]	$Q_{s,ocu}$ [W]	$Q_{s,equ}$ [W]	$Q_{s,ilu}$ [W]	$Q_{s,total}$ [W]
Primera planta	Dormitorio doble	165	618	62	120	53	964	1.981
	Lavandería	27	0	77	60	62	151	377
	Salón y corredor	154	1.100	77	120	90	808	2.349
	Dormitorio esquina	77	2.420	31	60	38	261	2.887
	Dormitorio medio	71	2.471	31	60	38	267	2.937
	Estudio	168	5.005	77	180	160	540	6.132
Planta baja	Salón principal	-99	14.813	77	300	188	1.531	16.811
	Entrada	35	2.587	77	0	5	345	3.049
	Comedor	21	1.492	77	300	0	432	2.323
	Cocina	-26	2.238	77	180	903	764	4.136
	Salón interior	13	2.984	77	240	150	785	4.249
	Dormitorio	29	1.275	31	60	53	406	1.854
	Corredor	-74	460	77	0	0	766	1.229
Planta subterránea	Dormitorio	-479	152	31	60	38	366	168
	Salón de juegos	-511	152	77	120	38	533	410

Las ganancias de calor sensible indican las capacidades mínimas de refrigeración que deben tener los equipos de climatización a instalar. Por ejemplo, la cocina debe tener un equipo capaz de producir 4.136 W de frío.

**Proyecto de implantación en una vivienda de
un sistema híbrido para la producción de ACS,
calefacción y refrigeración en base a un
sistema solar más un sistema de aerotermia**

Tabla 7.10. Ganancias de calor latente en cada zona

Planta	Zona	$Q_{l,ven}$ [W]	$Q_{l,ocu}$ [W]	$Q_{l,equ}$ [W]	$Q_{l,total}$ [W]
Primera planta	Dormitorio doble	137	80	0	217
	Lavandería	172	40	0	212
	Salón y corredor	172	80	0	252
	Dormitorio esquina	69	40	0	109
	Dormitorio medio	69	40	0	109
	Estudio	172	120	0	292
Planta baja	Salón principal	172	200	0	372
	Entrada	172	0	0	172
	Comedor	172	200	0	372
	Cocina	172	120	22	314
	Salón interior	172	160	0	332
	Dormitorio	69	40	0	109
	Corredor	172	0	0	172
Planta subterránea	Dormitorio	69	40	0	109
	Salón de juegos	172	80	0	252

Contrariamente a lo que sucede en la demanda de calefacción, los equipos de climatización reducen la humedad absoluta del interior mientras están generando frío, motivo por el cual los huéspedes pueden ahorrarse instalar soluciones al respecto para mantener la humedad relativa estable.

8. Sistema convencional

El sistema convencional se caracteriza por tratar la producción de ACS y la climatización por separado, usando equipos dedicados exclusivamente a cada función. A continuación, se definen ambos procesos y se listan las soluciones con los equipos encargados de satisfacer las necesidades de bienestar. En el anexo II se muestran las fichas técnicas de todos estos equipos.

8.1. Producción de ACS

Tal y como se ha mencionado anteriormente en el apartado 6.1, las normativas indican que el ACS debe producirse, en parte, con el uso de energías renovables. En consecuencia, el sistema está dotado de una instalación solar térmica que transforma esta energía en calor. Paralelamente, se dispone de un elemento auxiliar que cubre la demanda cuando la energía solar captada es insuficiente. En la figura 8.1 se representa el proceso de producción de ACS del sistema convencional.

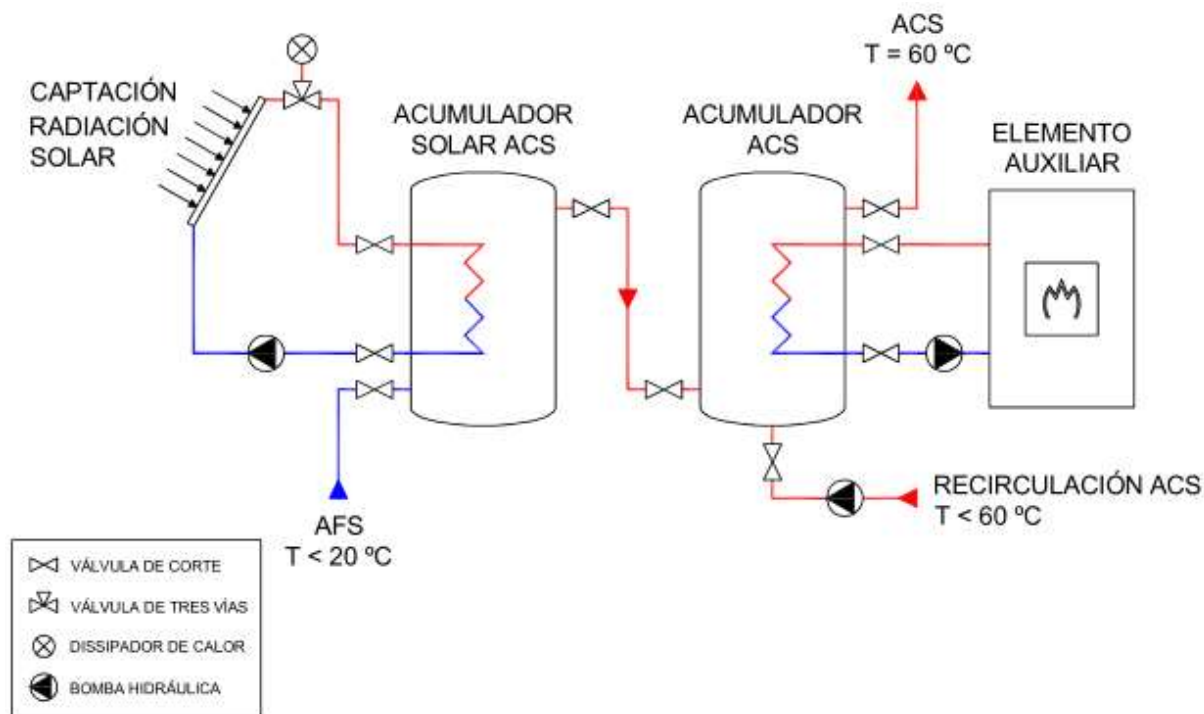


Figura 8.1. Esquema del proceso de producción de ACS del sistema convencional

Proyecto de implantación en una vivienda de un sistema híbrido para la producción de ACS, calefacción y refrigeración en base a un sistema solar más un sistema de aerotermia

Primeramente, el AFS pasa por la instalación solar térmica entrando en un depósito acumulador que recibe el calor absorbido por los captadores solares. Después, el agua precalentada se dirige a un segundo depósito acumulador que, en caso de ser necesario, recibe calor de un elemento auxiliar para salir del proceso a una temperatura de 60 °C.

En el acumulador solar se efectúa el intercambio de calor mediante un circuito cerrado de agua con glicol que circula por el propio acumulador y los captadores solares. Además, puesto que el ACS debe suministrarse al hogar a una temperatura de 60 °C, el circuito incorpora un disipador de energía para evitar que la temperatura en el acumulador sea superior a la requerida.

La salida del segundo acumulador dispone de una sonda de temperatura que indica al elemento auxiliar si debe actuar o no. En caso afirmativo, éste suministra energía al depósito a través de un circuito cerrado de agua que los conecta. También, el sistema dispone de recirculación para reaprovechar el agua que sale de la vivienda y que se encuentra a cierta temperatura superior a la del AFS.

8.1.1. Instalación solar térmica

Para dimensionar la instalación solar térmica se elige un modelo de captador solar y se estudian sus características para determinar si cumple con las normativas y satisface la demanda de energía. Posteriormente, se seleccionan el acumulador solar y el disipador de energía en base al colector elegido.

En primer lugar, en el catálogo de la empresa BAXI⁴ se observan distintos modelos de captadores solares que pueden resultar útiles para dimensionar la instalación. Para este sistema se elige el colector SOL 250 que tiene una superficie de apertura de 2,37 m². La cantidad de colectores a instalar se obtiene iterando con el volumen de acumulación.

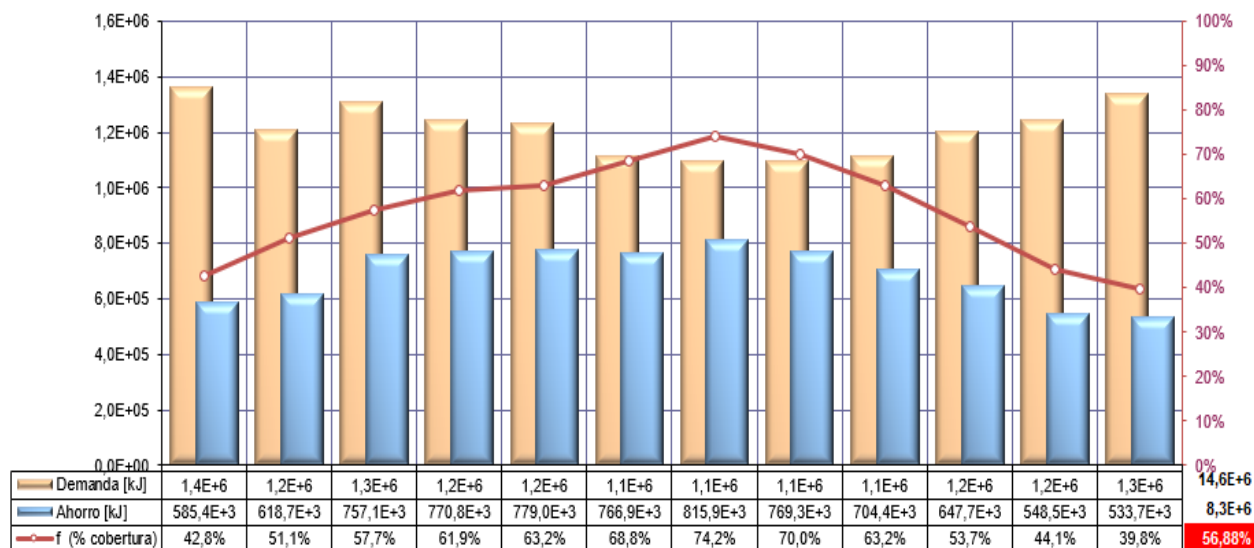
⁴ BAXI. Empresa multinacional líder en sistemas y servicios de climatización para el hogar, que forma parte del grupo BDR Thermea.

**Proyecto de implantación en una vivienda de
un sistema híbrido para la producción de ACS,
calefacción y refrigeración en base a un
sistema solar más un sistema de aerotermia**

Septiembre	17.208	19,2	17	6.3
Octubre	11.988	16,4	15	6.5
Noviembre	8.316	11,3	12	6.3
Diciembre	6.876	8,4	10	6.5

El promedio de la irradiación global es de 16.410 kJ/(m²·día), que equivalen a 4,56 kW/(m²·día), y el promedio de la temperatura media del agua de la red es de 13,75 °C. Ambos datos ya han sido utilizados en el estudio de la demanda de ACS. La suma de las demandas mensuales de ACS a 60 °C resulta ser de 76,65 m³, que corresponde con la extrapolación de la demanda de 210 l/día para los 365 días del año.

Con los datos indicados se obtiene la gráfica 8.1 que muestra mensualmente la demanda energética para producir ACS, la cantidad de energía aportada por la instalación solar térmica y el porcentaje de demanda que cubre esta instalación. La demanda energética depende del consumo de ACS y de la temperatura del agua de red. La cantidad de energía aportada resulta de la relación entre el área total de captación, el volumen de acumulación y la radiación solar.

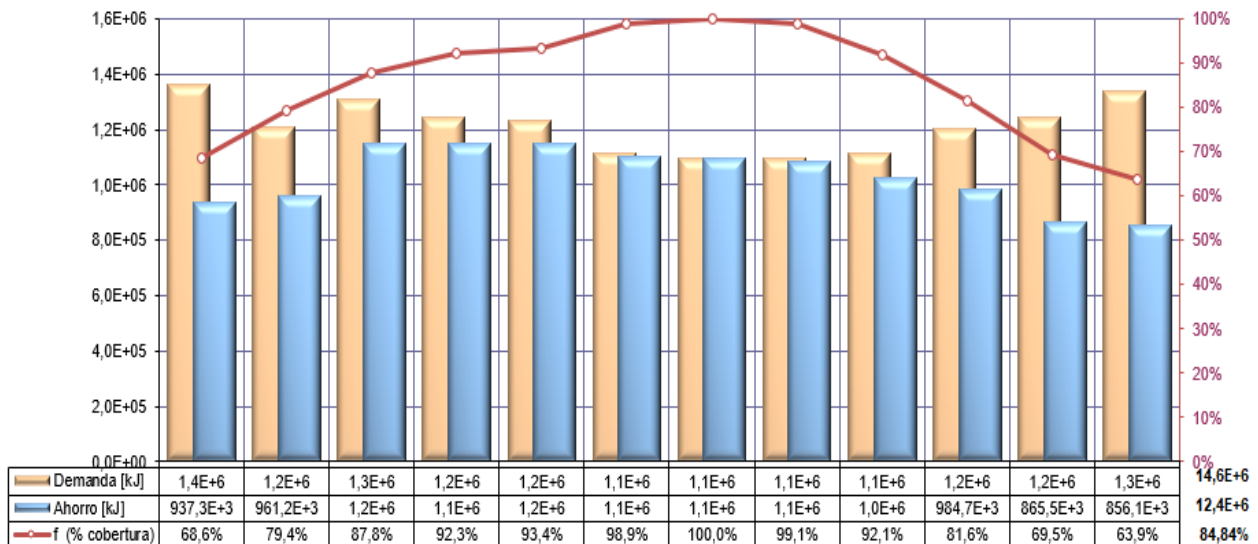


Gráfica 8.1. Demanda de ACS, ahorro de energía y cobertura solar para la iteración 1

Proyecto de implantación en una vivienda de un sistema híbrido para la producción de ACS, calefacción y refrigeración en base a un sistema solar más un sistema de aerotermia

Se observa que la energía solar aportada cubre anualmente el 56,88% de la demanda de ACS. Como se ha definido en el apartado 6.1, la OMA de Barcelona marca que la contribución solar mínima anual debe ser del 60%. Puesto que la cobertura solar es insuficiente, se repite el procedimiento de cálculo con dos colectores.

En esta nueva iteración, la superficie total de apertura es de 4,74 m² y se vuelve a fijar un volumen para el acumulador de 300 l, pues según la ecuación 8.1 éste debe estar entre 237 l y 853 l. Con estas nuevas características se aprecian los nuevos resultados de aportación solar con la gráfica 8.2.



Gráfica 8.2. Demanda de ACS, ahorro de energía y cobertura solar para la iteración 2

La cobertura solar anual es del 84,84%, por lo que se cumple la normativa al usar dos colectores solares SOL 250 y un depósito de 300 l. BAXI ofrece la solución SOLAR EASY 300 que incluye ambos colectores, el acumulador FST 300-2E con el volumen indicado y otros complementos como purgadores, soportes y acoplamientos hidráulicos.

En segundo lugar, la instalación contiene un disipador de energía para limitar la temperatura de acumulación a 60 °C, cumpliendo también con la especificación de protección contra sobrecalentamientos del CTE DB-HE. El disipador debe ser pasivo para que éste siga en funcionamiento en caso de caída eléctrica. Para seleccionar el modelo adecuado se necesita la potencia de disipación, que depende de los captadores solares. El rendimiento de los colectores SOL 250 sigue la ecuación 8.2.

$$\eta = 0,812 - 3,478 \cdot (\Delta T / G) - 0,018 \cdot (\Delta T^2 / G) \quad (8.2)$$

η rendimiento del captador solar

$\Delta T = 44,4$ °C diferencia de temperatura entre ACS y media exterior

$G = 1000$ W/m² irradiación solar hemisférica

El rendimiento resulta ser de 0,622 y la irradiación solar hemisférica en la superficie de apertura de 4,74 m² es de 4.740 W. Relacionando ambos conceptos se obtiene que la potencia de disipación debe ser de 3.000 W.

La empresa Salvador Escoda S.A.⁵ ofrece el disipador de calor estático DISIP 4, que consiste en una batería de disipación de 3.000 W, la válvula de tres vías termostática y el tubo capilar que une el disipador con los captadores.

En la tabla 8.2 se indican las referencias de los equipos y accesorios que forman la instalación solar térmica y su precio de venta. Esta instalación también incluye el segundo acumulador de ACS que es usado para almacenar el calor aportado por el elemento auxiliar y tiene la misma referencia que el acumulador solar.

⁵ Salvador Escoda S.A. Empresa suministradora de productos para instalaciones de climatización.

Tabla 8.2. Equipos y accesorios de la instalación solar térmica

Equipo	Proveedor	Referencia	Precio
Colectores solares Acumulador ACS Accesorios	BAXI	Solar easy 300	4.605 €
Acumulador ACS	BAXI	FST 300-2E	1.768 €
Disipador 3.000 W	Salvador Escoda S.A.	SO 12 044	304 €
Válvula termostática	Salvador Escoda S.A.	SO 12 022	178 €
Tubo capilar	Salvador Escoda S.A.	SO 012 23	39 €
			6.894 €

La instalación solar térmica tiene un precio total de 6.894 €.

8.1.2. Elemento auxiliar

El sistema convencional dispone de un elemento auxiliar que da soporte a la instalación solar cuando esta es incapaz de producir el ACS solicitado por la vivienda. Este elemento consiste en una caldera de condensación que produce calor mediante la quema de gas.

En el apartado 6.2 se ha determinado que la potencia necesaria que debe tener el sistema para producir ACS es de 2,08 kW. Esta es la potencia mínima que debe tener la caldera para poder cubrir la demanda, por ejemplo, en días lluviosos.

En este proyecto se elige la caldera mural EcoTherm Plus WGB 28 de la empresa BAXI, que presenta una potencia útil de 27,2 kW para generar ACS a 60 °C con un rendimiento del 99,3%. Se observa que la potencia está sobredimensionada, ya que los fabricantes suelen ofrecer calderas para abastecer las demandas de ACS y calefacción y en este caso la calefacción se realiza con el sistema de climatización.

Proyecto de implantación en una vivienda de un sistema híbrido para la producción de ACS, calefacción y refrigeración en base a un sistema solar más un sistema de aerotermia

Para la futura comparación con el sistema de climatización híbrido es necesario conocer el consumo energético anual de la caldera, pues éste permite calcular anualmente el coste económico, el consumo de energías no renovables y las emisiones de CO₂ que se producen.

En el apartado 6.2 también se ha apuntado que el sistema debe generar 11,27 kWh/día para calentar el agua, que anualmente son 4.113,55 kWh. Debido a que la cobertura solar anual es del 84,84%, el equipo auxiliar debe generar el 15,16% restante, es decir, 623,61 kWh. Considerando el rendimiento de la caldera, el consumo anual de gas natural es de 628,01 kWh, que equivalen a 53,53 m³ puesto que el PCS del gas natural es de 11,7 kWh/m³ (Preciogas, 2019)

La caldera escogida produce ACS a 60 °C trabajando a plena carga y consumiendo 3 m³/h de gas natural. Con estos datos y sabiendo que la potencia eléctrica del quemador es de 104 W se obtiene que el consumo anual de electricidad es de 1,86 kWh.

El precio de la caldera es de 2.517 €.

8.2. Climatización

La climatización del habitáculo la efectúa un sistema de aerotermia aire-aire que mantiene las condiciones interiores deseadas por medio de un intercambio de energía con el aire exterior.

Una bomba de calor reversible se encarga de aportar o extraer calor a la vivienda ya sea trabajando en modo calefacción o refrigeración. Para optimizar el uso de esta bomba, el sistema incluye un recuperador de calor que gestiona las demandas de energía existentes en el interior, por ejemplo, si una zona A necesita 5 kWh de calor y una zona B 3 kWh de frío, el recuperador extrae calor de la zona B y lo cede a la zona A, provocando que la bomba trabaje únicamente generando 2 kWh de calor.

En la figura 8.2 se muestra la idea esquemática del sistema de climatización, el cual está formado por la bomba de calor, el recuperador de calor y los equipos interiores, que consisten en conductos ubicados sobre el falso techo. Cada zona a climatizar tiene su propio equipo interior.

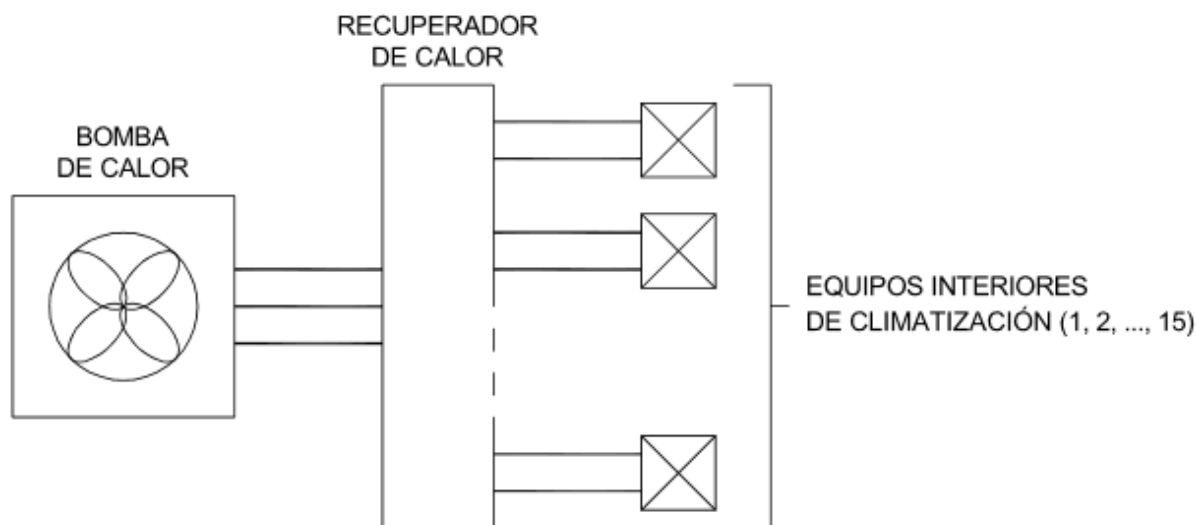


Figura 8.2. Sistema de climatización

En el dimensionado, cada fabricante tiene sus productos distintivos y ofrece la solución que mejor se adapta a las demandas de calefacción y refrigeración estudiadas en el apartado 7. Concretamente, se valoran las soluciones propuestas por las empresas Johnson Controls Hitachi Air Conditioning Europe S.A.S.⁶ y Mitsubishi Electric Europe B.V.⁷ en función del precio de venta y de los parámetros derivados del consumo energético anual.

En la tabla 8.3 se listan las capacidades mínimas de calefacción y refrigeración que debe tener la unidad interior de cada zona. También se indican las referencias de los conductos o equipos interiores de cada empresa que presentan las capacidades requeridas.

⁶ **Johnson Controls Hitachi Air Conditioning Europe S.A.S.** Empresa del sector de la climatización industrial que fabrica equipos de aire acondicionado y calefacción industrial.

⁷ **Mitsubishi Electric Europe B.V.** Empresa dedicada a la comercialización de productos de Mitsubishi Electric Corporation del sector de aire acondicionado.

Tabla 8.3. Capacidades mínimas de climatización y equipos interiores

Planta	Zona	Potencia calor [W]	Potencia frío [W]	Conductos HITACHI	Conductos MITSUBISHI
Primera planta	Dormitorio doble	1.832	1.981	RPI-0.8FSN5E	PEFY-P20VMA-E2
	Lavandería	575	377	RPI-0.4FSN5E	PEFY-P15VMS1-E
	Salón y corredor	1.953	2.349	RPI-0.8FSN5E	PEFY-P25VMA-E2
	Dormitorio esquina	1.137	2.887	RPI-1.5FSN5E	PEFY-P25VMA-E2
	Dormitorio medio	942	2.937	RPI-1.5FSN5E	PEFY-P25VMA-E2
	Estudio	2.050	6.132	RPI-2.0FSN5E	PEFY-P63VMA-E2
Planta baja	Salón principal	6.111	16.811	RPI-6.0FSN5E	PEFY-P140VMA-E2
	Entrada	1.307	3.049	RPI-1.5FSN5E	PEFY-P32VMA-E2
	Comedor	1.329	2.323	RPI-1.0FSN5E	PEFY-P25VMA-E2
	Cocina	1.727	4.136	RPI-1.5FSN5E	PEFY-P40VMA-E2
	Salón interior	2.186	4.249	RPI-2.0FSN5E	PEFY-P40VMA-E2
	Dormitorio	1.462	1.854	RPI-0.6FSN5E	PEFY-P15VMS1-E
	Corredor	2.296	1.229	RPI-0.8FSN5E	PEFY-P20VMA-E2
Planta subterránea	Dormitorio	1.063	168	RPI-0.4FSN5E	PEFY-P15VMS1-E
	Salón de juegos	1.535	410	RPI-0.6FSN5E	PEFY-P15VMS1-E

La nomenclatura que utiliza Hitachi consiste en que el equipo RPI-0.8FSN5E tiene una potencia de 0.8 CV, mientras que en Mitsubishi el conducto PEFY-P20VMA-E2 tiene un índice de capacidad igual a 20 que equivale a 0.8 CV.

A continuación, se exponen en las soluciones propuestas por ambas empresas y se determina el coste energético anual que implica la implantación de cada opción.

8.2.1. Sistema de climatización de Hitachi

Hitachi propone la instalación de un sistema de aerotermia de 3 tubos formado por una bomba de calor y dos recuperadores de ocho salidas para gestionar las demandas de las unidades interiores.

Los modelos de los equipos elegidos para los dormitorios de la primera planta y de la entrada y del salón interior de la planta baja tienen la opción de trabajar a potencia inferior si no se necesitan todas sus capacidades energéticas. En este caso, sus potencias se reducen 0,2 CV. Teniendo en cuenta las reducciones mencionadas, la suma de todas las potencias resulta ser de 20,6 CV.

Se considera que el sistema nunca trabajará a máxima potencia, pues la vivienda tiene dieciséis zonas a climatizar y está diseñada para una ocupación de siete personas. Por este motivo, se elige el modelo de unidad exterior RAS-16FSXNSE, que pertenece a la gama SET FREE SIGMA, cuya capacidad es de 16 CV. En consecuencia, el coeficiente de simultaneidad es de 0,78.

A nivel de especificaciones técnicas, la bomba puede tener conectada una potencia total de entre el 50% y el 130% de su propia capacidad. Observando las potencias, la unidad elegida trabaja al 129% por lo que está bien seleccionada.

En la figura 8.3 se observa el esquema de la solución propuesta y se especifican las referencias de los recuperadores de calor y derivadores usados para conectar el sistema correctamente. Asimismo, se detalla las zonas que gestionará cada recuperador.

**Proyecto de implantación en una vivienda de
un sistema híbrido para la producción de ACS,
calefacción y refrigeración en base a un
sistema solar más un sistema de aerotermia**

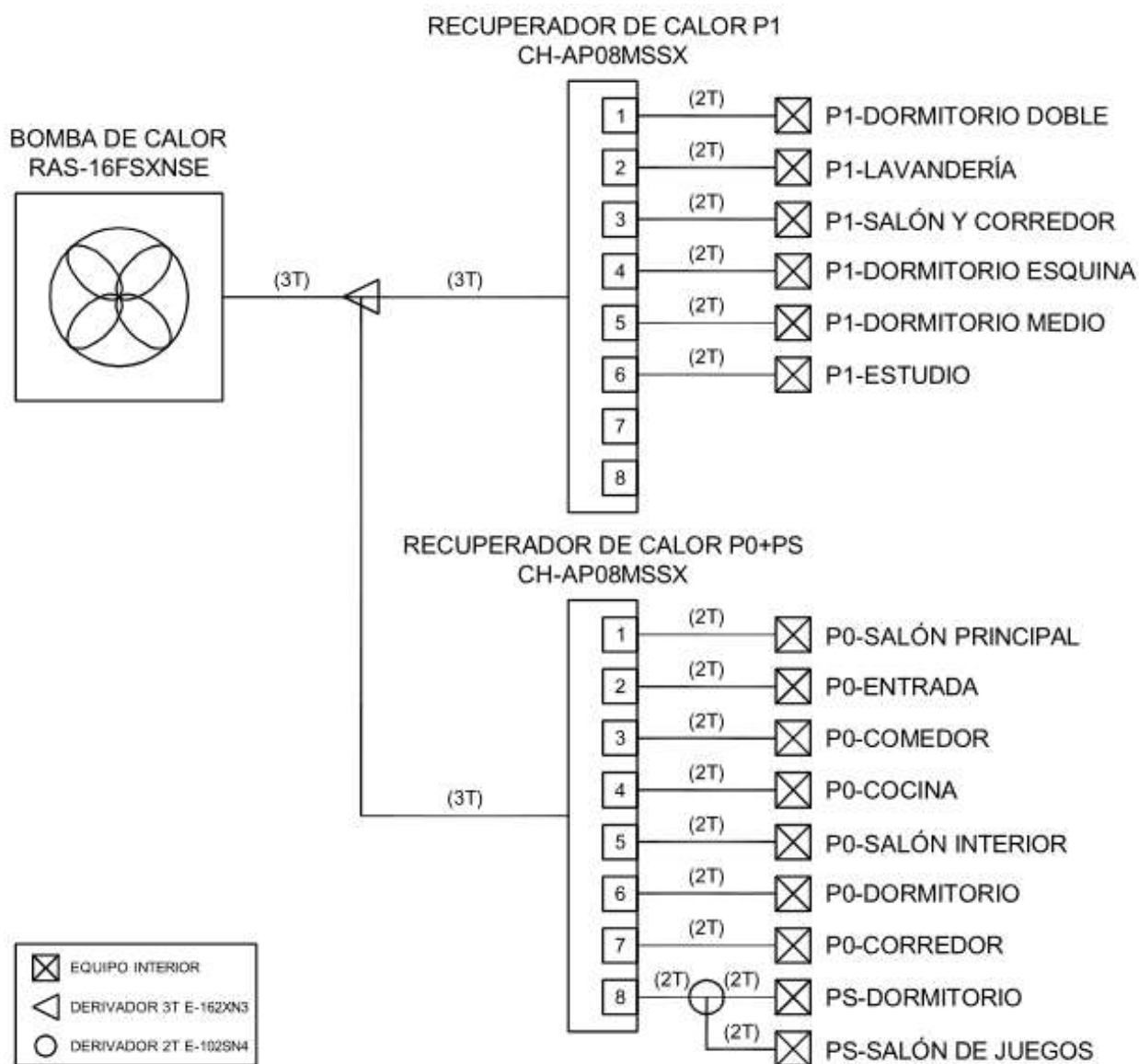


Figura 8.3. Sistema de climatización de Hitachi

El primer recuperador trabaja con los seis equipos de la primera planta, dejando dos salidas libres. El segundo recuperador tiene conectados los nueve conductos de la planta baja y de la planta subterránea. Puesto que los recuperadores tienen ocho salidas, los dos equipos de la planta subterránea se unifican para que el segundo recuperador emplee las ocho salidas. Ambos equipos unificados solo pueden aportar el mismo tipo de energía, es decir, si uno hace frío, el otro solo podrá hacer frío.

Proyecto de implantación en una vivienda de un sistema híbrido para la producción de ACS, calefacción y refrigeración en base a un sistema solar más un sistema de aerotermia

La tabla 8.4 muestra los equipos y accesorios del sistema de climatización de Hitachi y el precio de venta que tienen.

Tabla 8.4. Equipos y accesorios del sistema de climatización de Hitachi

Equipo	Referencia	Precio unitario	Cantidad	Precio
Unidad exterior	RAS-16FSXNSE	20.907 €	1	20.907 €
Derivador 3T	E-162XN3	284 €	1	284 €
Recuperador de calor	CH-AP08MSSX	7.309 €	2	14.618 €
Derivador 2T	E-102SN4	150 €	1	150 €
Unidad interior	RPI-0.4FSN5E	1.131 €	2	2.262 €
Unidad interior	RPI-0.6FSN5E	1.148 €	2	2.296 €
Unidad interior	RPI-0.8FSN5E	1.170 €	3	3.510 €
Unidad interior	RPI-1.0FSN5E	1.226 €	1	1.226 €
Unidad interior	RPI-1.5FSN5E	1.309 €	4	5.236 €
Unidad interior	RPI-2.0FSN5E	1.332 €	2	2.664 €
Unidad interior	RPI-6.0FSN5E	2.199 €	1	2.199 €
Mando multifunción	PC-ARFPE	168 €	15	2.520 €
				57.872 €

Por otro lado, el consumo energético anual depende de la demanda energética y de las eficiencias estacionales de la bomba de calor. Además, los recuperadores de calor también tienen un consumo siempre que existe demanda por parte de alguna unidad interior. El consumo de los conductos no se considera ya que es muy reducido en comparación con los otros equipos.

Proyecto de implantación en una vivienda de un sistema híbrido para la producción de ACS, calefacción y refrigeración en base a un sistema solar más un sistema de aerotermia

Al desconocer las demandas energéticas anuales de calefacción y refrigeración, se toman los valores máximos permitidos según el CTE DB-HE. La demanda de calefacción límite se calcula con la ecuación 8.3, mientras que la demanda de refrigeración límite en Barcelona es de 15 kWh/(m²·año).

$$D_{cal.lim} = D_{cal.base} + F_{cal.sup}/S \quad (8.3)$$

$D_{cal.lim}$ demanda de calefacción límite kWh/(m²·año)

$D_{cal.base}$ demanda de calefacción base kWh/(m²·año)

$F_{cal.sup}$ factor corrector por superficie

$S = 713,54 \text{ m}^2$ superficie total a climatizar

En la zona climática de Barcelona, la demanda de calefacción base es de 20 kWh/(m²·año) y el factor corrector por superficie es 1.000. Con todos los datos definidos se obtiene que las demandas de calefacción y refrigeración límites anuales son de 15.270,8 kWh y 10.703,1 kWh respectivamente.

La unidad exterior RAS-16FSXNSE tiene una eficiencia estacional generando calor o SCOP de 4,42 y una eficiencia estacional generando frío o SEER de 7,3. Relacionando las eficiencias con las demandas, el consumo de la bomba resulta ser de 4.921,11 kWh/año

Los recuperadores de calor CH-AP08MSSX tienen un consumo de 22,4 W. Se estima que la vivienda está ocupada 8 horas al día y que durante estas horas siempre existe alguna demanda, así pues, el consumo de los recuperadores es de 130,82 kWh/año.

En total, el consumo anual de electricidad es de 5.051,93 kWh.

8.2.2. Sistema de climatización de Mitsubishi

La propuesta de Mitsubishi se basa en un sistema aire-aire de 2 tubos formado por una bomba de calor y un único recuperador de dieciséis salidas. Aunque el sistema sea de 2 tubos, se pueden cubrir las demandas de calefacción y de refrigeración porque el recuperador de calor tiene electroválvulas que regulan las presiones del refrigerante.

En primer lugar, la suma de los índices de capacidad de los equipos interiores anotados en la tabla 8.3 resulta ser igual a 515. Así pues, se elige para la unidad exterior el modelo PURY-P450YNW-A, que pertenece a la gama CITY MULTI, cuyo índice de capacidad es 450. Por lo tanto, el coeficiente de simultaneidad es de 0,87.

Técnicamente, la bomba puede tener conectada una potencia total de entre el 50% y el 150% de su propia capacidad. Observando los índices de capacidad, la unidad elegida trabaja al 114%, hecho que confirma la buena selección.

El esquema de la solución de Mitsubishi se aprecia en la figura 8.4. También se indican las referencias de los equipos y accesorios usados para el correcto funcionamiento del sistema.

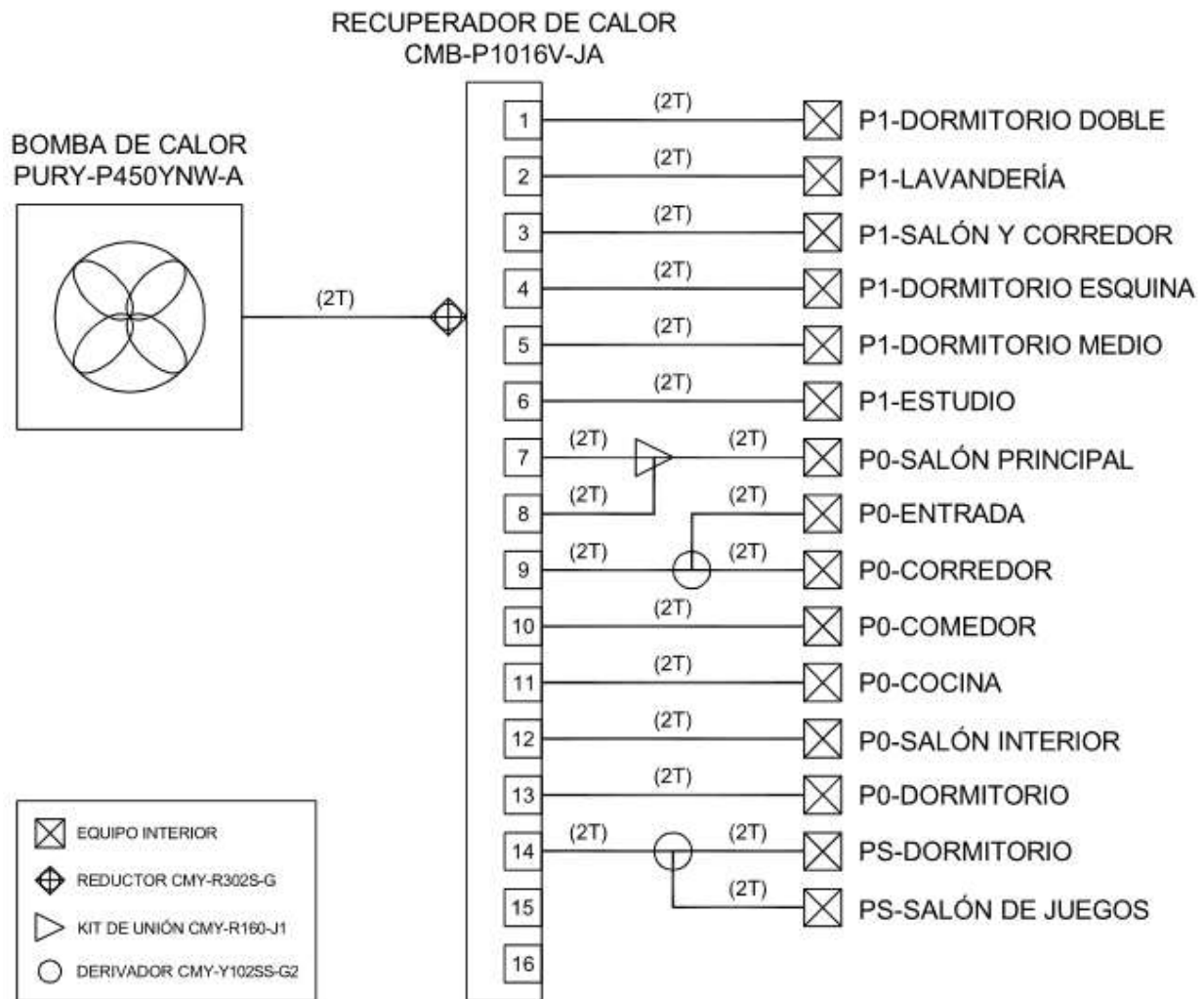


Figura 8.4. Sistema de climatización de Mitsubishi

Las salidas del recuperador de calor están limitadas a un índice de capacidad igual a 80. Con el kit de unión se pueden juntar dos salidas para duplicar el valor límite. Esta conexión se realiza para el equipo del salón principal cuyo índice es de 140. Además, igual que en la solución de Hitachi, se usan derivadores que permiten controlar distintos conductos con una única salida.

En la tabla 8.5 se anotan los equipos y accesorios del sistema de climatización de Mitsubishi y el valor económico de éstos.

**Proyecto de implantación en una vivienda de
un sistema híbrido para la producción de ACS,
calefacción y refrigeración en base a un
sistema solar más un sistema de aerotermia**

Tabla 8.5. Equipos y accesorios del sistema de climatización de Mitsubishi

Equipo	Referencia	Precio unitario	Cantidad	Precio
Unidad exterior	PURY-P450YNW-A	24.137 €	1	24.137 €
Reductor	CMY-R302S-G	114 €	1	114 €
Recuperador de calor	CMB-P1016V-JA	9.096 €	1	9.096 €
Kit de unión	CMY-R160-J1	113 €	1	113 €
Derivador	CMY-Y102SS-G2	108 €	2	216 €
Unidad interior	PEFY-P15VMS1-E	1.238 €	4	4.952 €
Unidad interior	PEFY-P20VMA-E2	1.427 €	2	2.854 €
Unidad interior	PEFY-P25VMA-E2	1.447 €	4	5.788 €
Unidad interior	PEFY-P32VMA-E2	1.469 €	1	1.469 €
Unidad interior	PEFY-P40VMA-E2	1.524 €	2	3.048 €
Unidad interior	PEFY-P63VMA-E2	1.654 €	1	1.654 €
Unidad interior	PEFY-P140VMA-E2	2.431 €	1	2.431 €
Control remoto	PAR-33MAA	154 €	15	2.310 €
				58.182 €

En segundo lugar, se calcula el consumo energético anual de la bomba de calor y del recuperador con las demandas límite anuales fijadas anteriormente, que eran 15.270,8 kWh en calefacción y 10.703,1 kWh en refrigeración. De nuevo, no se evalúan los consumos de los equipos interiores debido a que son muy bajos.

La unidad exterior PURY-P450YNW-A tiene un SCOP de 3,66 y un SEER de 7,28. Las demandas y las eficiencias estacionales permiten obtener el consumo de la bomba, que es de 5.642,56 kWh/año.

El recuperador de calor CMB-P1016V-JA tiene un consumo de 119 W en calefacción y 246 W en refrigeración. Estimando que los períodos de calefacción y refrigeración duran 7 y 5 meses respectivamente, y que el hogar está solicitando climatización 8 horas al día, resulta que el consumo del recuperador es de 501,91 kWh/año.

En total, el consumo anual de electricidad es de 6.144,47 kWh.

8.3. Definición del sistema convencional

Para definir el sistema convencional se ponen en común las soluciones propuestas para la producción de ACS y climatización. De este modo, se pueden comparar fácilmente las opciones de climatización expuestas y obtener el precio y el consumo energético del sistema completo.

Los consumos energéticos conllevan unos costes de suministro que deben tenerse en cuenta en la evaluación del sistema. Además, se tienen que valorar los consumos de energías primarias no renovables y las emisiones de CO₂ que se producen al generar las energías finales.

Los costes se determinan considerando que la energía se contrata en el mercado libre, en el cual los precios varían en función de lo pactado entre la empresa comercializadora y el cliente. Para este proyecto, se estima que la electricidad tiene un valor en de 0,15 €/kWh y el gas natural de 0,0559 €/kWh más un coste fijo anual de 51,24 € (OCU, 2017).

El consumo de energías no renovables y las emisiones de CO₂ se cuantifican con los coeficientes de paso, que son factores de conversión que se aplican sobre la energía consumida. Los coeficientes que se usan en este proyecto se indican en la tabla 8.6.

Proyecto de implantación en una vivienda de un sistema híbrido para la producción de ACS, calefacción y refrigeración en base a un sistema solar más un sistema de aerotermia

Tabla 8.6. Coeficientes de paso e energía final a primaria y emisiones de CO₂ (ambiente, 2018)

Descripción	Coeficiente
Coeficiente de paso de electricidad (energía no renovable)	1,954
Coeficiente de paso de gas natural (energía no renovable)	1,190
Factor de emisiones de CO ₂ de electricidad	0,331
Factor de emisiones de CO ₂ de gas natural	0,252

En la tabla 8.7 se visualizan las características comparativas de cada proceso de producción para poder definir el sistema convencional de manera óptima.

Tabla 8.7. Características comparativas de los procesos de producción

	Producción de ACS		Sistema de climatización	
			Hitachi	Mitsubishi
Precio de venta	9.411 €		57.872 €	58.182 €
Energía consumida	Gas Natural	Electricidad	Electricidad	Electricidad
Consumo energético anual [kWh]	628,01	1,86	5.051,93	6.144,47
Coste anual	86,35 €	0,28 €	757,79 €	921,67 €
Consumo energías primarias no renovables [kWh]	747,33	3,63	9.871,46	12.006,29
Emisiones de CO₂ [kg]	158,26	0,61	1.672,19	2.033,82



**Proyecto de implantación en una vivienda de
un sistema híbrido para la producción de ACS,
calefacción y refrigeración en base a un
sistema solar más un sistema de aerotermia**

Se puede observar como el sistema de climatización de Hitachi ofrece mejores prestaciones que el de Mitsubishi, pues es más rentable a nivel económico y tiene un menor impacto ambiental. Las características del sistema convencional elegido son las siguientes:

- Precio de venta: 67.283 €
- Coste anual: 844,42 €
- Consumo de energías primarias no renovables: 10.622,42 kWh
- Emisiones de CO₂: 1.831,06 kg

9. Sistema de climatización híbrido

Este sistema se caracteriza por centralizar la producción de ACS y la climatización de la vivienda. Igual que en el sistema convencional, se dispone de una instalación solar térmica que debe producir el ACS necesario para cumplir la normativa. En este caso, el equipo que da soporte a la instalación solar es un módulo hidráulico que se conecta al recuperador de calor y utiliza la energía del aire para calentar el segundo acumulador. En la figura 9.1 se aprecia el sistema.

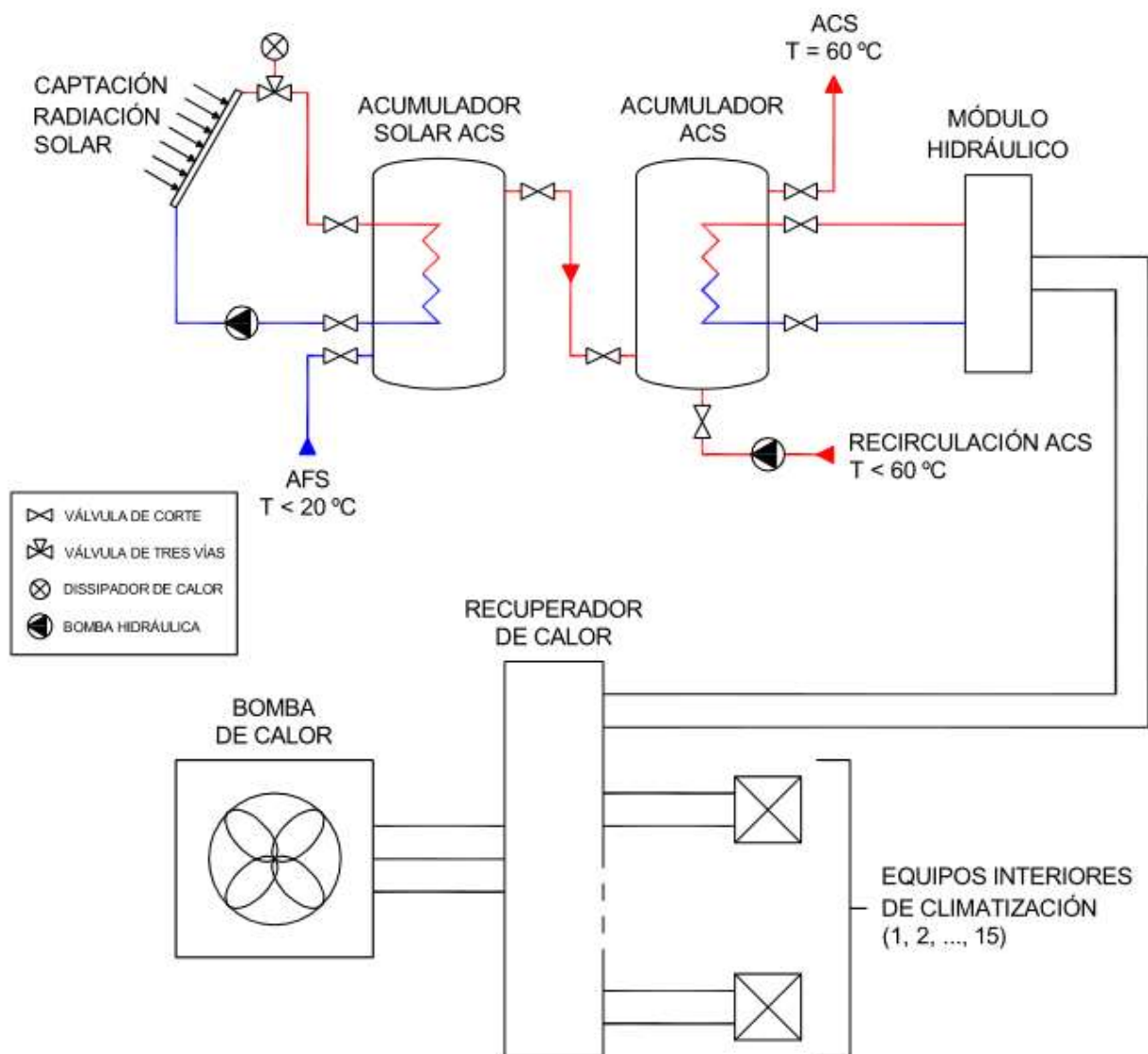


Figura 9.1. Esquema del sistema de climatización híbrido



Proyecto de implantación en una vivienda de un sistema híbrido para la producción de ACS, calefacción y refrigeración en base a un sistema solar más un sistema de aerotermia

La principal ventaja de este sistema es la substitución de la caldera por el módulo hidráulico y la supresión de la instalación de gas correspondiente. Este hecho conlleva a una mayor seguridad para la vivienda.

La instalación solar térmica es la misma que se ha dimensionado en el sistema convencional, pues las condiciones climáticas y la demanda anual de ACS no varían. En la tabla 7.2 se indican los equipos y accesorios que constituyen la instalación, que tiene un precio total de 6.894 €.

Para definir el sistema de climatización híbrido se valoran de nuevo las soluciones que proponen las empresas Johnson Controls Hitachi Air Conditioning Europe S.A.S. y Mitsubishi Electric Europe B.V. Puesto que las demandas de calefacción y refrigeración se mantienen constantes, se utilizan las referencias de los equipos interiores de la tabla 7.3.

Las soluciones de climatización son similares al sistema convencional, aunque las bombas de calor deben tener mayor capacidad para poder entregar la potencia necesaria al módulo hidráulico y a los conductos. En el anexo II también se muestran las características técnicas de los equipos que son distintos al sistema convencional.



9.1. Soluciones de climatización

9.1.1. Sistema de climatización híbrido de Hitachi

La solución propuesta por Hitachi consiste nuevamente en un sistema de aerotermia de 3 tubos formado por una bomba de calor y dos recuperadores de ocho salidas para tratar las demandas de ACS y clima.

El módulo hidráulico que se elige para la instalación es el Hydro Free de alta temperatura, ya que es el único capaz de calentar el agua a 60 °C. Este módulo tiene una potencia de 5 CV, que sumados a la potencia total de las unidades interiores significan 25,6 CV,

Dentro de la gama seleccionada para el sistema convencional, la unidad exterior que mejor se adapta a los nuevos requisitos es la RAS-18FSXNSE, cuya potencia es de 18 CV y presenta un coeficiente de simultaneidad de 0,7. El equipo escogido trabaja al 142% de su capacidad, confirmando la buena elección al tener un rango de trabajo entre el 50% y el 150%.

En la figura 9.2 se observa la solución de Hitachi con las referencias tomadas.

Proyecto de implantación en una vivienda de
un sistema híbrido para la producción de ACS,
calefacción y refrigeración en base a un
sistema solar más un sistema de aerotermia

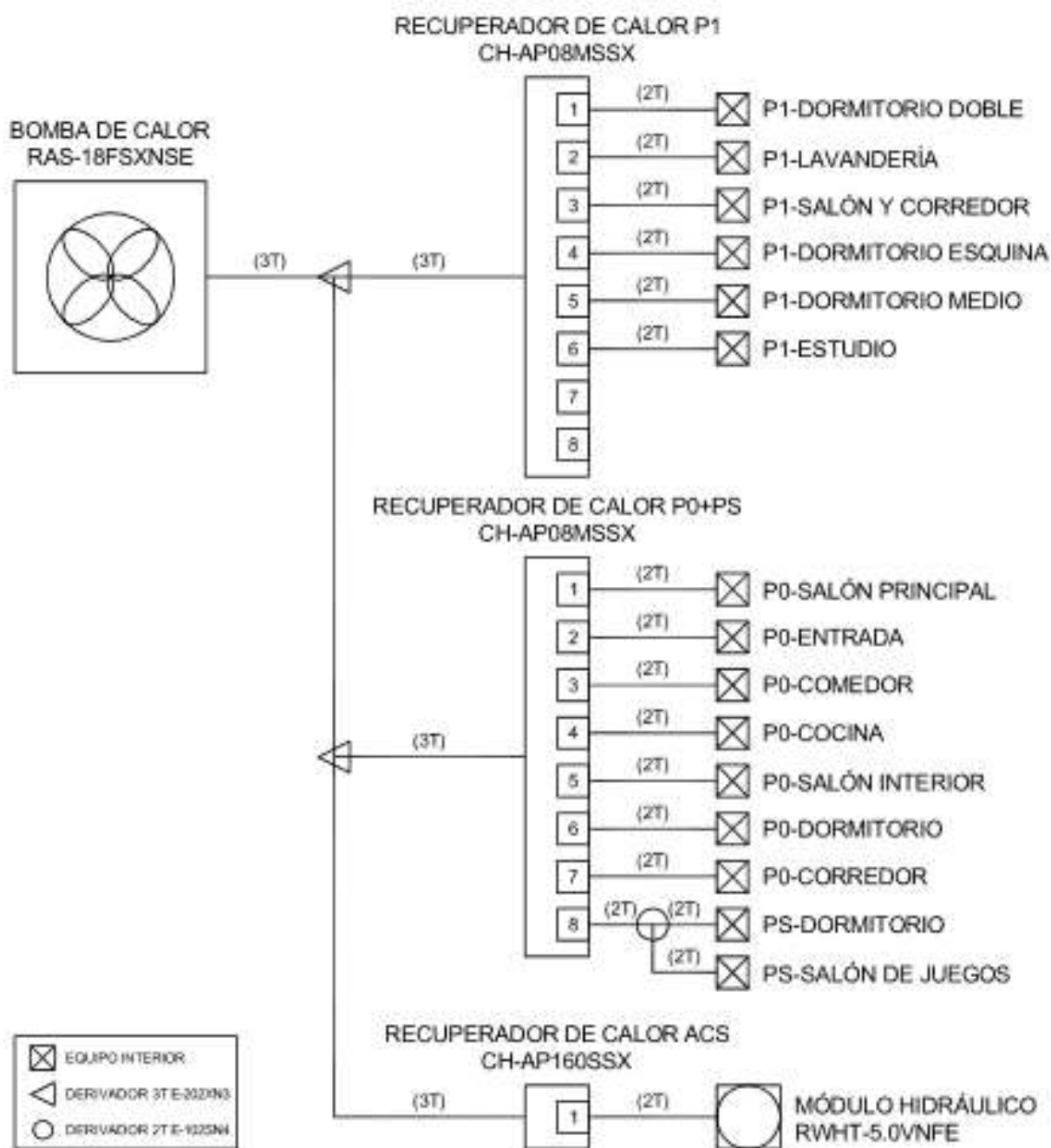


Figura 9.2. Sistema de climatización híbrido de Hitachi

La diferencia que presenta este sistema respecto al convencional es la introducción del módulo hidráulico. Igual que cualquier unidad interior, este módulo trabaja con 2 tubos, por lo que se instala un recuperador de una salida para conectar los 3 tubos del sistema.

**Proyecto de implantación en una vivienda de
un sistema híbrido para la producción de ACS,
calefacción y refrigeración en base a un
sistema solar más un sistema de aerotermia**

La tabla 9.1 muestra los equipos, accesorios y precio del sistema de climatización híbrido de Hitachi.

Tabla 9.1. Equipos y accesorios del sistema de climatización híbrido de Hitachi

Equipo	Referencia	Precio unitario	Cantidad	Precio
Unidad exterior	RAS-18FSXNSE	24.401 €	1	24.401 €
Derivador 3T	E-202XN3	328 €	2	656 €
Recuperador de calor	CH-AP08MSSX	7.309 €	2	14.618 €
Recuperador de calor	CH-AP160SSX	1.059 €	1	1.059 €
Derivador 2T	E-102SN4	150 €	1	150 €
Módulo hidráulico	RWHT-5.0VNFE	8.490 €	1	8.490 €
Unidad interior	RPI-0.4FSN5E	1.131 €	2	2.262 €
Unidad interior	RPI-0.6FSN5E	1.148 €	2	2.296 €
Unidad interior	RPI-0.8FSN5E	1.170 €	3	3.510 €
Unidad interior	RPI-1.0FSN5E	1.226 €	1	1.226 €
Unidad interior	RPI-1.5FSN5E	1.309 €	4	5.236 €
Unidad interior	RPI-2.0FSN5E	1.332 €	2	2.664 €
Unidad interior	RPI-6.0FSN5E	2.199 €	1	2.199 €
Mando multifunción	PC-ARFPE	168 €	15	2.520 €
Mando multifunción ACS	PC-ARFWE	168 €	1	168 €
				71.455 €

Proyecto de implantación en una vivienda de un sistema híbrido para la producción de ACS, calefacción y refrigeración en base a un sistema solar más un sistema de aerotermia

El consumo energético anual de la bomba de calor y de los recuperadores se obtiene con las demandas límite anuales usadas anteriormente, que eran de 15.270,8 kWh en calefacción y de 10.703,1 kWh en refrigeración. En este caso, tampoco se consideran los consumos de los equipos interiores al tener valores poco significativos.

La unidad exterior RAS-18FSXNSE tiene un SCOP de 4,18 y un SEER de 6,96. Relacionando las eficiencias con las demandas, el consumo de la unidad exterior resulta ser de 5.191,1 kWh/año.

Los recuperadores de calor CH-AP08MSSX y CH-AP160SSX consumen de 22,4 W y 5 W respectivamente. Si estos equipos están en funcionamiento durante 8 horas al día, su consumo es de 145,42 kWh/año.

El módulo hidráulico tiene caudal nominal de 2,8 m³/h y, según se define en el apartado 8.1, el sistema debe calentar anualmente el 15,16% de los 76,65 m³ de demanda total. Conociendo que la potencia consumida total del módulo es de 2,8 kW, resulta que el consumo energético es de 11,62 kWh.

En total, el consumo anual de electricidad es de 5.348,14 kWh.

9.1.2. Sistema de climatización híbrido de Mitsubishi

Mitsubishi presenta el mismo sistema aire-aire de 2 tubos formado por una bomba de calor de mayor eficiencia, el recuperador de dieciséis salidas y el módulo hidráulico.

El módulo hidráulico que se elige para la producción de ACS es el PWFY-P100VM-E-BU, pues es el único capaz de calentar el agua a 60 °C. Este módulo tiene un índice de capacidad de 100, que sumado al índice total de las unidades interiores resulta igual a 615. El equipo exterior elegido para esta opción híbrida es la bomba PURY-P550YSNW-A, cuyo índice de capacidad es 550 y el coeficiente de simultaneidad es de 0,89. Esta bomba puede trabajar en un rango entre el 50% y el 150% de su propia capacidad, confirmando la buena selección al estar al 112%.

El esquema de Mitsubishi se aprecia en la figura 9.3.

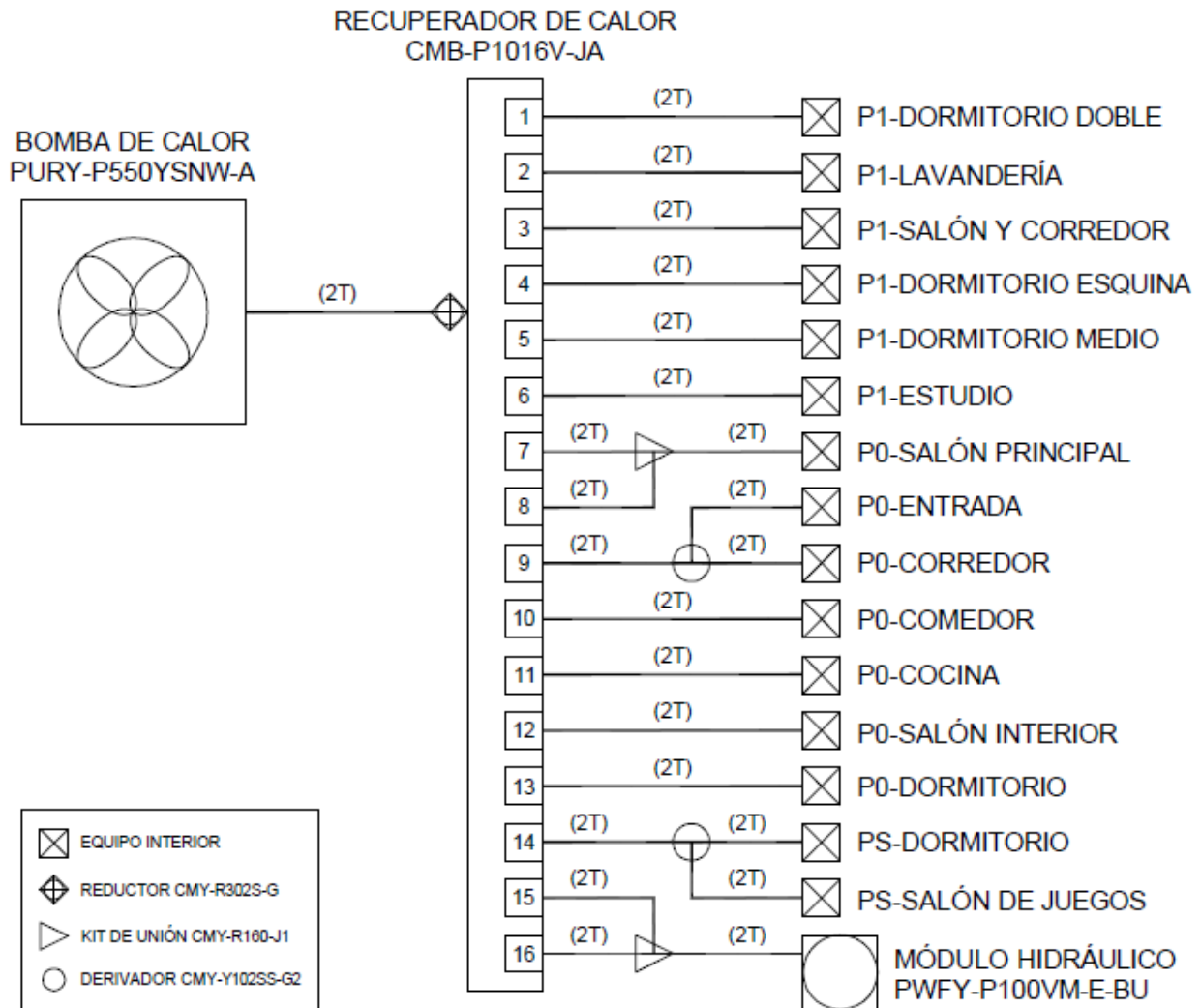


Figura 9.3. Sistema de climatización híbrido de Mitsubishi

Las salidas del recuperador de calor son las mismas que en el sistema convencional, pero en este caso las salidas quince y dieciséis, que estaban vacías, se utilizan para el módulo hidráulico. Este módulo necesita emplear dos salidas puesto que su índice de capacidad es superior a 80.

**Proyecto de implantación en una vivienda de
un sistema híbrido para la producción de ACS,
calefacción y refrigeración en base a un
sistema solar más un sistema de aerotermia**

En la tabla 9.2 se listan los equipos del sistema de climatización híbrido de Mitsubishi.

Tabla 9.2. Equipos y accesorios del sistema de climatización híbrido de Mitsubishi

Equipo	Referencia	Precio unitario	Cantidad	Precio
Unidad exterior	PURY-P550YSNW-A	28.992 €	1	28.992 €
Reductor	CMY-R302S-G	114 €	1	114 €
Recuperador de calor	CMB-P1016V-JA	9.096 €	1	9.096 €
Kit de unión	CMY-R160-J1	113 €	2	226 €
Derivador	CMY-Y102SS-G2	108 €	2	216 €
Módulo hidráulico	PWFY-P100VM-E-BU	5.948 €	1	5.948 €
Unidad interior	PEFY-P15VMS1-E	1.238 €	4	4.952 €
Unidad interior	PEFY-P20VMA-E2	1.427 €	2	2.854 €
Unidad interior	PEFY-P25VMA-E2	1.447 €	4	5.788 €
Unidad interior	PEFY-P32VMA-E2	1.469 €	1	1.469 €
Unidad interior	PEFY-P40VMA-E2	1.524 €	2	3.048 €
Unidad interior	PEFY-P63VMA-E2	1.654 €	1	1.654 €
Unidad interior	PEFY-P140VMA-E2	2.431 €	1	2.431 €
Control remoto	PAR-33MAA	154 €	15	2.310 €
Control remoto ACS	PAR-W21MAA-J	263 €	1	263 €
				69.361 €

Proyecto de implantación en una vivienda de un sistema híbrido para la producción de ACS, calefacción y refrigeración en base a un sistema solar más un sistema de aerotermia

De nuevo, se calcula el consumo energético de la unidad exterior con las demandas límite anuales y las eficiencias estacionales. El modelo PURY-P550YSNW-A tiene un SCOP de 4,18 y un SEER de 7,58, que derivan a un consumo anual de 5.065,32 kWh.

El recuperador de calor CMB-P1016V-JA es el mismo que en el sistema convencional, por lo que, considerando los mismos períodos de funcionamiento, tiene un consumo de 501,91 kWh.

El módulo hidráulico tiene caudal nominal de 2,15 m³/h y, igual que el módulo de Hitachi, debe calentar anualmente 11,62 m³ de ACS. Sabiendo que el componente consume una potencia de 2,48 kW, resulta que el consumo energético es de 13,41 kWh.

Sumando los valores obtenidos, el consumo anual de electricidad es de 5.580,64 kWh.

9.2. Definición del sistema de climatización híbrido

El sistema de climatización híbrido se define por medio de la instalación solar térmica y la solución propuesta óptima para la producción de ACS y climatización. Para ello, se comparan las opciones de las empresas Hitachi y Mitsubishi. Del sistema completo, se analizan los distintos parámetros que servirán para la posterior comparación con el sistema convencional, como el precio de venta y las características asociadas al consumo energético anual.

Para determinar los costes energéticos, los consumos de energías primarias no renovables y las emisiones de CO₂, se utilizan los valores monetarios y los coeficientes de paso descritos en el sistema convencional. En concreto, los coeficientes se aprecian en la tabla 8.6.

En la tabla 9.3 se observan las características comparativas de cada solución.

Proyecto de implantación en una vivienda de un sistema híbrido para la producción de ACS, calefacción y refrigeración en base a un sistema solar más un sistema de aerotermia

Tabla 9.3. Características comparativas de las soluciones propuestas

	Instalación solar térmica	Sistema de climatización híbrido	
		Hitachi	Mitsubishi
Precio de venta	6.894 €	71.455 €	69.361 €
Energía consumida	-	Electricidad	Electricidad
Consumo energético anual [kWh]	-	5.348,14	5.580,64
Coste anual	-	802,22 €	837,1 €
Consumo energías primarias no renovables [kWh]	-	10.450,26	10.904,56
Emisiones de CO₂ [kg]	-	1.770,23	1.847,19

En este caso, la elección de la solución óptima es más compleja, porque la propuesta más económica es la de Mitsubishi y la que tiene un consumo energético anual inferior es la de Hitachi. Para elegir la solución adecuada se analizan detalladamente las diferencias percibidas.

Los precios de venta de ambas opciones varían un 2,75%, mientras que los consumos energéticos anuales distan un 4,35%. Con estos datos, se determina que los parámetros más significativos son los relacionados con el consumo anual, por lo que la solución óptima es la de Hitachi. Las características del sistema de climatización híbrido son las siguientes:

- Precio de venta: 78.349 €
- Coste anual: 802,22 €
- Consumo de energías primarias no renovables: 10.450,26 kWh
- Emisiones de CO₂: 1.770,23 kg

10. Comparación entre los sistemas definidos

Para determinar cuál es el sistema adecuado a implementar en la vivienda, se comparan los sistemas convencional e híbrido de igual forma que se ha realizado anteriormente, calculando la significancia de las diferencias que presentan las características de cada uno. En la tabla 10.1 se muestran ambos sistemas y sus características comparativas.

Tabla 10.1. Características comparativas de las soluciones propuestas

	Sistema convencional	Sistema de climatización híbrido
Precio de venta	67.283 €	78.349 €
Consumo energético anual [kWh]	628,01 (gas natural) 5.053,79 (electricidad)	5.348,14 (electricidad)
Coste anual	844,42 €	802,22 €
Consumo energías primarias no renovables [kWh]	10.622,42	10.450,26
Emisiones de CO₂ [kg]	1.831,06	1.770,23

La variación que presentan los precios de venta es del 16,45% y los consumos energéticos anuales difieren un 5%. Estos porcentajes indican que el parámetro más significativo es el precio de venta y, en consecuencia, el sistema a implementar óptimo resulta ser el convencional.

Las ventajas que ofrece el sistema de climatización híbrido no compensan la diferencia de precio que tiene con respecto al sistema convencional. Esta diferencia se debe a la sustitución de la caldera por el módulo hidráulico y a la selección de una bomba de calor de mayor capacidad.



11. Conclusiones

En este proyecto se ha contemplado la opción de implementar un sistema de climatización híbrido en una gran vivienda de 713,54 m², sustituyendo el sistema convencional que se suele instalar en los domicilios unifamiliares.

La principal característica del proyecto es que la calefacción se realiza mediante el sistema de climatización encargado también de refrigerar el domicilio. Por este motivo, únicamente se necesita ACS para cubrir la demanda de uso personal.

La diferencia entre los sistemas convencional e híbrido es el tipo de energía utilizada para calentar el agua, que significa únicamente el 2,34% de la energía total a producir, e implica que ambos sistemas presenten consumos energéticos anuales parecidos. En consecuencia, la implementación de un sistema híbrido no es adecuada porque es más cara y apenas presenta ventajas energéticas.

En viviendas donde la calefacción se realiza mediante circuito cerrado de ACS, la energía necesaria para calentar agua toma un peso mucho más significativo. En estos casos, la diferencia entre el consumo de gas natural y electricidad es considerable, motivo por el cual aumenta el impacto ambiental generado por el sistema convencional y resulta más adecuada la opción de generar ACS con aerotermia a través de un sistema de climatización híbrido.

12. Tareas de mejora del proyecto

Existen distintas tareas que servirían para aumentar la precisión del proyecto, tanto en los cálculos realizados como en los sistemas definidos. A continuación, se describen las principales mejoras que ayudarían a dimensionar el proyecto con mayor exactitud.

En primer lugar, en el estudio de necesidades de climatización se han utilizado los coeficientes de transmitancia térmica establecidos en el CTE DB-HE, que corresponden a los valores límite de transmitancia que los cerramientos pueden tener. Los coeficientes reales dependen de las características de la envolvente térmica y están al alcance de los arquitectos de la vivienda. Utilizando los valores reales, las demandas de calefacción y refrigeración serían inferiores y no se necesitarían equipos de tanta capacidad calorífica, hecho que reduciría el precio de los sistemas a definir.

En segundo lugar, para calcular los consumos energéticos de las bombas de calor, se han usado las demandas límite anuales de calefacción y refrigeración, calculadas según se indica en el CTE DB-HE. También, los consumos de los recuperadores de calor se han evaluado en función de si trabajan en modo frío o calor independientemente. Si se realizara una valoración de necesidades energéticas en cada hora del año, se podría observar la cantidad de energía que cubriría el propio recuperador y el ahorro energético por parte de la bomba. De este modo, el consumo de la bomba sería inferior, especialmente en los meses en que hubiera demanda simultánea de calefacción y refrigeración.

Por último, en el sistema convencional, se podría valorar la opción de utilizar una caldera eléctrica en lugar de una caldera de gas natural, pues resultan más económicas y no necesitan mantenimiento. Por contra, la energía eléctrica es más costosa y el consumo de energías primarias no renovables y las emisiones de CO₂ aumentan.

13. Bibliografía y Referencias

AEMET. 2012. Atlas de radiación solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT. [En línea] 24 de Abril de 2012. [Citado el: 11 de Febrero de 2019.] http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas_radiacion_solar.

ASHRAE. 1997. 1997 ASHRAE Handbook. *Fundamentals*. [En línea] 1 de Junio de 1997. [Citado el: 3 de Marzo de 2019.]

EPA. 2017. Mold Web Course. *Chapter 2: Lesson 3 - Humidity*. [En línea] 21 de Febrero de 2017. [Citado el: 30 de Enero de 2019.] <https://www.epa.gov/mold/pdf-version-mold-course>.

iambiente. 2018. Coeficientes de paso (RITE) de energía final a primaria y emisiones de CO2. [En línea] Paula Serrano Yuste, 28 de Diciembre de 2018. [Citado el: 28 de Abril de 2019.] <https://iambiente.es/2018/12/coeficientes-de-paso-rite-de-energia-final-a-primaria-y-emisiones-de-co2/>.

IDAE. 2010. Guía técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto. [En línea] Junio de 2010. [Citado el: 18 de Febrero de 2019.] <https://www.idae.es/publicaciones/guia-tecnica-condiciones-climaticas-exteriores-de-proyecto>.

INSST. 1999. NTP 538. *Legionelosis: medidas de prevención y control en instalaciones de suministro de agua*. [En línea] 1999. [Citado el: 11 de Febrero de 2019.] http://insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_538.pdf.

Ivace. 2017. Nota informativa sobre la instalación de bombas de calor para producción de ACS en sustitución de la contribución solar mínima de ACS exigida por la HE4 del CTE. [En línea] 9 de Marzo de 2017. [Citado el: 20 de Mayo de 2019.] <http://gcee.aven.es/es/component/k2/item/16-bombas-de-calor>.

OCU. 2017. Vivienda y energía: Gas y luz. *Qué es eso del mercado libre*. [En línea] OCU, 23 de Enero de 2017. [Citado el: 19 de Abril de 2019.] <https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/gas-luz/noticias/que-es-eso-del-mercado-libre#>.



Proyecto de implantación en una vivienda de un sistema híbrido para la producción de ACS, calefacción y refrigeración en base a un sistema solar más un sistema de aerotermia

Preciogas. 2019. Precio del KWh gas natural 2019. [En línea] 2019. [Citado el: 14 de Abril de 2019.] <https://preciogas.com/faq/precio-metro-cubico-gas-natural#evolucion-precio-kWh-gas-natural-esp%C3%B1a>.

Rafael Ruiz, Òscar Ribé. 2004. *Climatització: Confort y cargas térmicas*. Barcelona : CPDA-ETSEIB, 2004. 84-95355-70-1.

Redacción Onmeda. 2016. Necesidades energéticas: Metabolismo basal y gasto energético. [En línea] 19 de Noviembre de 2016. [Citado el: 30 de Enero de 2019.] https://www.onmeda.es/dieta/necesidades_energeticas-metabolismo-basal-gasto-energetico-3800-2.html.

REE. 1998. Proyecto INDEL. *Atlas de la demanda eléctrica española*. [En línea] 28 de Octubre de 1998. [Citado el: 4 de Abril de 2019.] <https://www.ree.es/es/publicaciones/actividades-de-ree/proyecto-indel-atlas-de-la-demanda-el%C3%A9ctrica-esp%C3%B1ola>.